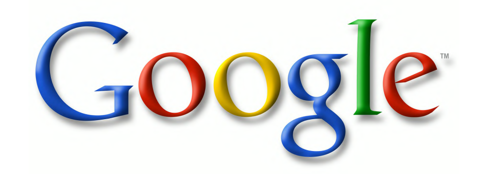
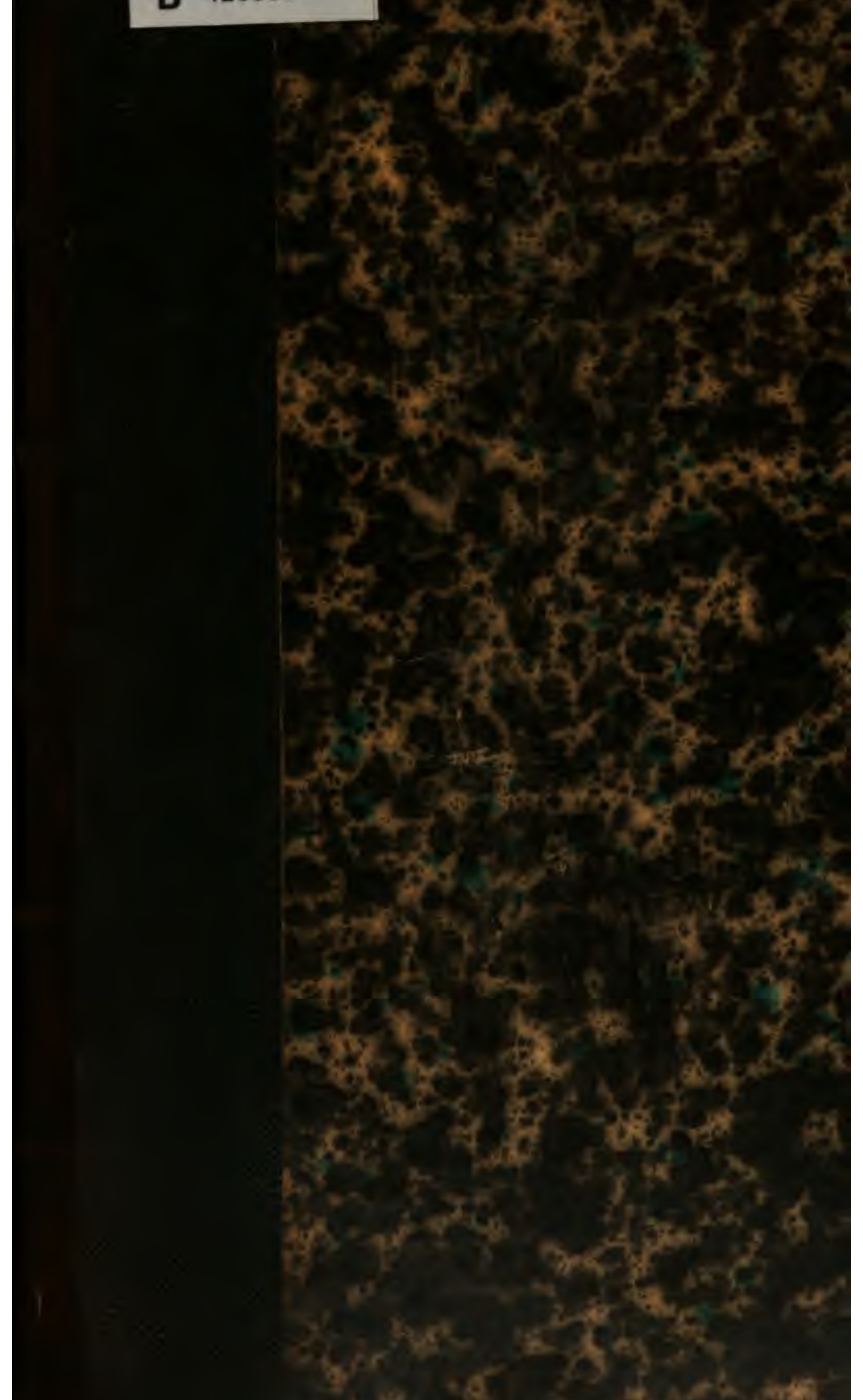
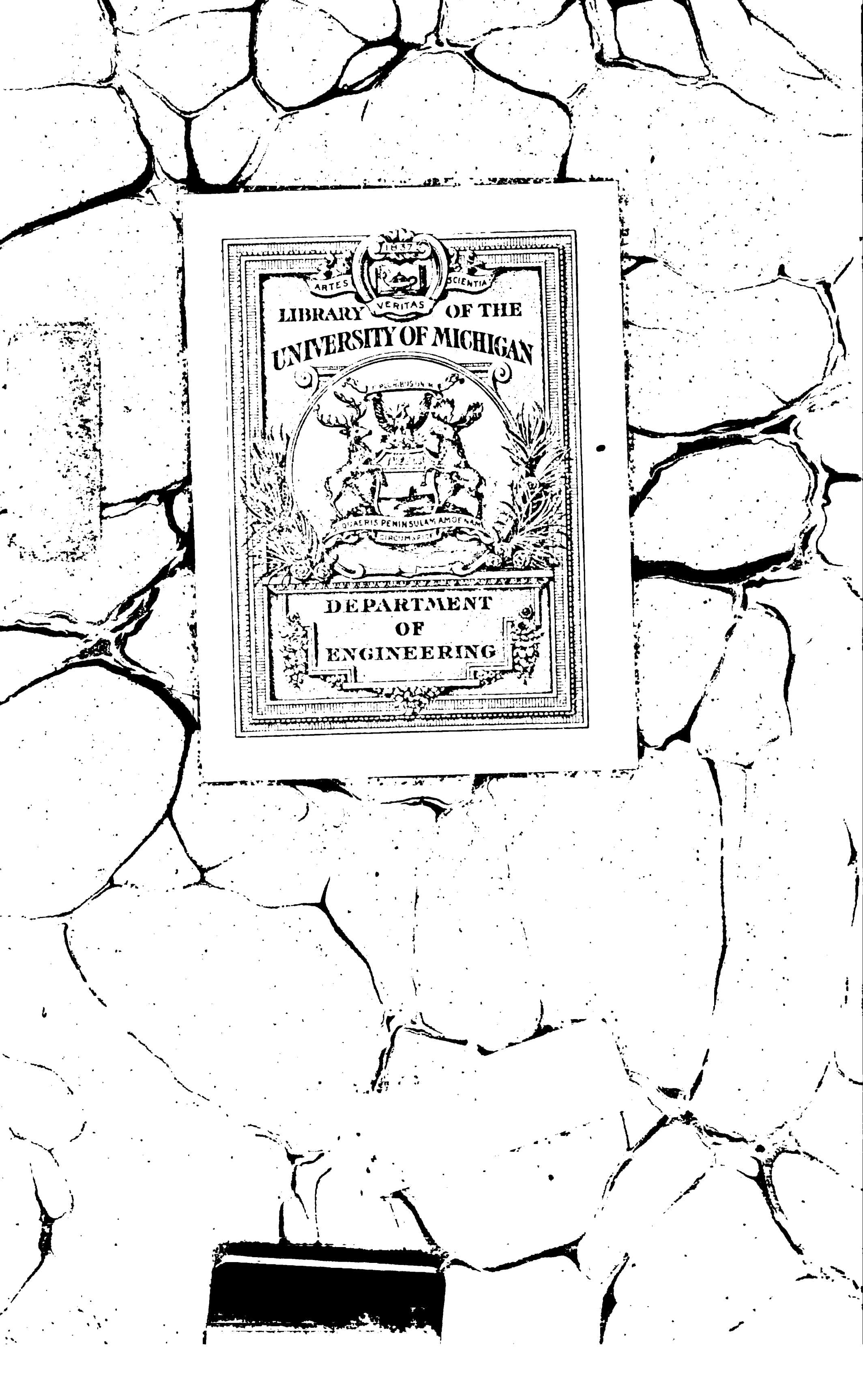





1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

ANNÉE 1894

La Société n'est pas solidaire des opinions émises par ses Membres dans les discussions, ni responsable des Notes ou Mémoires publiés dans le *Bulletin*.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ

DES

INGÉNIEURS CIVILS

DE FRANCE

FONDÉE LE 4 MARS 1848

RECONNUE D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 22 DÉCEMBRE 1860

ANNÉE 1894

PREMIER VOLUME

PARIS

SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ

10, CITÉ ROUGEMONT, 10

—

1894

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JANVIER 1894

N° 1.

Sommaire des séances du mois de janvier 1894 :

1° *Installation des membres du Bureau et du Comite.* — Discours de MM. Ch. Herscher et G. du Bousquet. (Séance du 5 janvier), pages 7 et 14 ;

2° *Décès* de MM. H.-G.-A. Guillaume, Turck, Ch. Herscher. (Séances des 5 et 30 janvier), pages 28 et 37 ;

3° *Lettres* de condoléance au sujet de la mort de M. P. Jousselin. (Séance du 5 janvier), page 27 ;

4° *Décorations et Nominations.* (Séances des 5 et 19 janvier), pages 28 et 30 ;

5° *Concours* pour la nomination d'un professeur de mécanique dans les Écoles d'Arts et Métiers. (Séance du 5 janvier), page 28 ;

6° *Congrès des Sociétés savantes en 1894.* Désignation des délégués. (Séance du 5 janvier), page 28 ;

7° *Maisons démontables* (Invitation de visiter quatre types de). (Séance du 5 janvier), page 29 ;

8° *Don* de la collection complète des bulletins de la Société depuis sa fondation, par Mme Vve Benoît-Duportail. (Séance du 5 janvier), page 29 ;

9° *Coupole de la Halle au blé* (La), lettre de M. A. Mallet et observations de M. Ed Roy. (Séance du 19 janvier), page 29 ;

10° *Invitation* de la Société internationale des Electriciens. (Séance du 19 janvier), page 30

11° *Exposition de Chicago* (Série de conférences sur l'), au Conservatoire des Arts et Métiers. (Séance du 19 janvier), page 30;

12° *Machine-Locomotive* (La), Analyse de l'ouvrage de M. Édouard Sauvage, par M. G. Richard. (Séance du 19 janvier), page 31 ;

13° *Foyer fumivore système Boileau* (Le), par M. A. de Dax. (Séance du 19 janvier, page 32 ;

14° *Passage en courbe du matériel roulant de chemin de fer*, par M. Edmond Roy, et observations de MM. du Bousquet, E. Polonceau. (Séance du 19 janvier), page 34 ;

15° *Ponts métalliques en Russie* (Les), par M. le professeur N. Belelubsky. (Séance supplémentaire du 30 janvier), page 39 :

Mémoires contenus dans le Bulletin de janvier 1894 :

16° *Formule du travail de déformation dans le laminage et le martelage*, par M. F. Chaudy, page 47 ;

17° *Discours nécrologiques* prononcés aux obsèques de M. Ch. Herscher, vice-président de la Société, par MM. Delaunay-Belleville, du Bousquet et Copeau, pages 58, 60 et 62 ;

18° *Chronique, n° 169*, par M. A. Mallet, page 64 ;

19° *Comptes rendus*, id. page 76 ;

20° *Listes des Journaux et publications périodiques* reçus au 1er janvier 1894, par la Société, page 85.

Pendant le mois de janvier 1894, la Société a reçu :

33704 — De M. Lévy-Lambert (M. de la S.). *Chemins de fer à crémaillère* (grand in-8° de 300 p.). Paris, H. Lamirault, 1892.

33705 — De M. le Comte de Chambrun. *Mes nouvelles conclusions sociologiques* (in-8° de 128 p.). Paris, Calmann Lévy, 1893.

33706 — De M. Guillen-Garcia (M. de la S.). *El hueso en la industria y en la agricultura* (in-8° de 144 p.). Barcelona, 1892.

33707 — De la Chambre de Commerce de Paris. *Exposition de Chicago*, par E. Lourdelet (in-8° de 635 p.). Paris, Librairies-Imprimeries réunies, 1893.

33708 — De M. E. de Churruca. *Memoria que manifesta el estado y progreso de las obras de Mejora de la Ria de Bilbao y cuenta de gastos é ingresos durante el ano economico de 1892 à 1893.* Bilbao, 1893.

33709 et 33710 — De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs. *Cours théorique et pratique d'exploitation des mines.* 5e fascicule : *Transport* (supplément); 6e fascicule : *Méthodes d'exploitation des veines très minces*, par F. Cambessédès. Paris, E. Bernard et Cie, 1892-1893.

33711 — De M. J. Garnier (M. de la S.). *Étude sur les mines de nickel de*

la Nouvelle-Calédonie, par F. Benoit (in-8° de 52 p.). Saint-Etienne, Théolier et Cie, 1893.

33712 — De M. E. Godchaux. *La néoline soluble. Nouveau produit d'ensimage de la laine* (in-12 de 12 p.). Nancy, Berger-Levrault, 1893.

33713 — Du Commandant Rodgers. Attaché naval des États-Unis à Paris. *Annual Report of the Secretary of the Navy for the year 1893.* Washington, 1893.

33714 — Du même. *Annual Report of the Chief of the Bureau of Construction and Repair to the Secretary of the Navy for the fiscal year ending, June 30, 1893.* Washington, 1893.

33715 — Du Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Colonies.
et *Notices et comptes rendus* (fascicules VI et VII), par l'Office du
33716 Travail. Paris, Imprimerie Nationale, 1893.

33717 — De M. E. Turpin (M. de la S.). *L'univers : I. La formation des mondes* (in-18 jésus de 374 p. avec 11 fig.). Paris, A. Savine, 1894 (4e édition).

33718 — Du même. *L'univers :* II. *Les causes des phénomènes* (in-18 jésus de 342 p. avec 27 fig.). Paris, A. Savine, 1894 (3e édition).

33719 — De l'Observatorio de Rio de Janeiro, par le Ministère de l'Instruction publique. *Annuario publicado pelo Observatorio de Rio de Janeiro para el anno de 1893.* Rio de Janeiro, 1893.

33720 — De M. Walter Strapp (M. de la S.) *Diagramme montrant le développement des six principaux systèmes de freins employés en Angleterre par les Compagnies de chemins de fer, du 30 juin 1880 au 30 juin 1893* (1 feuille in-folio autogr.). Paris, P. Loddé, 1893.

33721 — De M. C. Balme. *Charpente en fer de l'Exposition de Lyon, 1894*
et (2 photographies format demi-grand-aigle). Lyon, Vic-
33722 toire, 1893.

33723 — De M. P. Dorel. *Essais de la machine à froid, de la machine à vapeur et des chaudières* (appareils fournis à la Compagnie des Brasseries Georges Hoffher, à Lyon). Rapport de M. P. Dorel (in-8° de 34 p.). Lyon, A. Storck, 1893.

33724 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Eau sous pression* (appareils producteurs d'eau sous pression), par F. Bloch (petit in-8° de 180 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, G. Masson, 1894.

33725 — *Constructions métalliques, Élasticité et résistance des matériaux, Fonte, fer et acier*, par J. Résal (grand in-8° de 652 p.). Paris, Baudry et Cie, 1892.

33726 — *Traité de chimie industrielle*, par Wagner, Fischer et L. Gautier
et (2 vol. grand in-8° de 828 p. et de 924 p., avec 736 gravures
33727 dans le texte). Paris, P. Savy, 1892.

33728 — De M. E.-S. Auscher (M. de la S.). *Étude critique sur la manufacture de porcelaines de Sèvres* (in-8° de 47 p.). Paris. J. Michelet, 1894.

33729 et 33730 — Du Ministère des Travaux publics. *Résumé des observations centralisées par le Service hydrométrique du bassin de la Seine, pendant l'année 1892*. Versailles, Ve E. Aubert, 1893.

33731 — *La Statue de la Liberté éclairant le monde*, par Ch. Talansier (in-8° de 35 p. avec 2 pl.). Paris, Génie civil, 1883.

33732 — De la Direction générale des Douanes. *Tableau général des mouvements du cabotage pendant l'année 1892*. Paris, Imprimerie Nationale, 1893.

33733 à 33735 — De l'Association technique maritime. *Bulletins nos 1, 2 et 3, sessions de 1890, 1891 et 1892*. Paris, Balitout et Cie, 1890-1893.

33736 — De l'Association française pour l'avancement des sciences. *Compte rendu de la 22e session*. Besançon, 1893; 1re partie, Paris, 1893.

33737 — Du Ministère des Chemins de fer, Postes et Télégraphes du royaume de Belgique. *Compte rendu des opérations pendant l'année 1892*. Bruxelles, J. Goemaere, 1893.

33738 et 33739 — De M. Grand-Bey (M. de la S.). *Comité de conservation des monuments de l'art arabe; exercice 1882-1883 : fascicule I; exercice 1892 : fascicule IX.*

33740 — De M. N. J. Raffard (M. de la S.). *Gustaf de Lavals Angturbinfabrik* (in-8° de 20 p.). Stockholm, 1892.

33741 — Du Ministère des Travaux publics. *Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1892; Documents principaux*. Paris, Imprimerie Nationale, 1893.

33742 et 33743 — De M. E. Bernard et Cie. *Revue technique de l'Exposition de Chicago en 1893;* par MM. Grille et H. Falconnet *1re partie : Architecture* (1 vol. grand in-8° et 1 atlas grand in-4°). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33744 — De H. Chapman (M. de la S.). *City of Newton. Annual Report of the City Engineer, for the year 1892*. Newton, 1892.

33745 — De M. G. Richard (M. de la S.). *La machine locomotive*, par Ed. Sauvage (petit in-8° de 327 p.). Paris, Baudry et Cie, 1894.

Les membres nouvellement admis pendant le mois de janvier 1894, sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

E.-E. Arnaud,	présenté par MM.	Buquet, Jousselin, Molinos.
F.-L. Barbier,	—	du Bousquet, Kéromnès, Pulin.
F.-H. Cazal,	—	Génis, Defrance, Rubin.
G. Cosmovici,	—	Pillet, Rey, de Dax.
A.-B. Dagras.	—	A. Blétry, C. Blétry, Olry.
A.-L. Deghilage,	—	Brodard, Mallet, Morandiere.
P.-M. Fauquier,	—	A. Evrard, Imbert, Lombard Gérin.
A. de Geiger,	—	Jousselin, Buquet, Ch. Herscher.
A.-R.-F. Gallonier,	—	du Bousquet, Rey, Vallot.
M. Grunberg,	—	Carimantrand, Lévi, Mallet.
A.-P. Jousselin,	—	Jousselin. Ch. Herscher, P. Buquet.
A. Léon,	—	Gobert, Grébus, Litschfouse.
Eug. Lippmann,	—	Appert, du Bousquet, Ed. Lippmann.
P. Martial,	—	Colle, Denize, Salmon.
P.-F. Matthey,	—	A. Mallet, F. Morel, J. Morandiere.
P. Medebielle,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
H. Messier de Saint-James.		Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
L.-V.-E. Montesino,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
Ch.-E. Otten,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
F. Panoux,	—	Carimantrand, Regnard, E. Roy.
H.-V. Paquet,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
J.-B. Perreur-Lloyd,	—	Carimantrand, Mallet, Morandiere.
G.-L.-F. Rey,	—	du Bousquet, Rey, Vallot.
E.-A. Schmitt,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
L.-R. Simulin,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
E. Taragonet,	—	Jousselin, Bodard, de Dax.
J.-P.-A. Tardieu,	—	Grébus, Litschfousse, de Sèprès.
A. Trigaux.	—	Josse, Ed. Roy, Whaley.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JANVIER 1894

Séance du 5 janvier 1894.

PRÉSIDENCE DE M. CH. HERSCHER, VICE-PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Les procès-verbaux des séances des 1er et 15 décembre 1893 sont adoptés.

M. Ch. HERSCHER prononce le discours suivant :

MES CHERS COLLÈGUES,

Suivant la tradition de notre Société, la première séance de janvier est réservée au discours inaugural du nouveau Président, précédé d'une sorte de résumé succinct des travaux et faits intéressants de l'exercice écoulé, résumé dressé par le Président sortant.

Pour la première fois, la fatalité veut que cet exposé de nos études et de la marche de notre Société ne vous soit pas présenté par celui que votre confiance avait mis à notre tête. Paul Jousselin n'est plus là pour constater combien l'année de sa présidence avait été féconde ; la mort, en le frappant, l'a privé de cette joie légitime qui est comme la récompense d'une direction active et dévouée.

C'est à ce douloureux événement que je dois l'honneur d'occuper pour quelques instants un fauteuil que j'ai hâte de céder à l'éminent ingénieur que vous avez choisi pour diriger vos travaux. Je profiterai au moins de ma suppléance éphémère pour rendre encore un dernier hommage à la mémoire de notre regretté président Jousselin, en disant qu'il avait bien mérité de la Société des Ingénieurs Civils de France.

Décès. La liste des collègues que la mort nous a enlevés au cours de l'année dernière est malheureusement importante. Cinquante-un nous ont ainsi

quittés; nos procès-verbaux en ont enregistré successivement les noms, en même temps que résumé les services. J'ai le devoir de rappeler ici ces noms à votre souvenir. Ce sont, par ordre de dates : MM. Th. de Brochocki, A. Cosyns, J. Hodgson, J. Lebaudy, Th. Agudio, A. Cabany, E. Blanpain, F. de la Rochette, A.-J. Belpaire, A. de Ibarreta y Ferrer, R. Cabanis, J.-B. Mitchell, F.-E. Rolin, P. Caillard, T. Charlier, R. Lorilleux, P. Doury, H.-A. Lambert, Ch. Armengaud (père), le vice-amiral Pàris, membre honoraire, G.-Th. Hamelin, L.-J. Arnoldi, Ch. Beaucerf, L.-E. Desmarest, E. Provê, Ch. Vaque, membre correspondant, A. La Salle, P.-B. de Salis, J. Verrine, V. Contamin, ancien président, D. Colladon, membre correspondant, F.-M. Claparède, F.-A. Achard, L.-A. Fousset, H. Maus, A.-C. Benoit-Duportail, ancien bibliothécaire de la Société, Ch.-J. Dornès, G.-J. Dubois, H.-H. Mathieux, A. Ménassier, J. Piérard, L. Soulerin, P. Tesse, M. Andrade, E. Vigan, P. Kotchoubey, membre honoraire, E. Cosnard, E.-G. Denis, L.-H.-M. de Pascal ; Paul Jousselin est venu le dernier fermer cette liste funèbre.

Sans faire un choix parmi ceux dont nous déplorons la perte, qu'il me soit permis de remarquer que l'année 1893, particulièrement dure pour nous, aura vu disparaître, en même temps que son président en exercice, un ancien président également aimé de nous tous par sa bienveillance, qu'égalait seule sa haute valeur de savant et de technicien : j'ai nommé Contamin.

Admissions.

Après ce tribut attristé à ceux qui ne sont plus, notons maintenant que, du 1er décembre 1892 au 30 novembre 1893, 143 admissions nouvelles sont venues renforcer nos rangs. Nous espérons de nos nouveaux collègues un contingent précieux d'activité soutenue.

Le développement de notre Société se manifeste, d'ailleurs, d'une manière régulière.

Au point de vue du nombre de ses membres, nous constatons un progrès constant. D'après le rapport qui nous a été communiqué le 15 décembre dernier, nous atteignions, à la date du 30 novembre 1893, le chiffre de 2 482 membres, en augmentation de 74 sur celui de l'exercice précédent. Nous croyons devoir inviter nos collègues à concourir, de leur mieux, au recrutement judicieux de nouveaux membres qui accroîteront la vie et la puissance de notre Société.

Situation financière et Dons.

Notre situation financière est également prospère. Nous en trouvons l'exposé complet dans le récent compte rendu de notre distingué et dévoué trésorier, M. Couriot; et n'en relèverons aujourd'hui que les chiffres relatifs aux dons généreux dont notre Société a bénéficié en 1893.

M. F. Robineau nous a fait don de 500 francs, en vue de la reconstruction de l'Hôtel de la Société ;

M. J.-D. Colladon nous a légué 1 000 *f*, que nous avons reçus des mains de son gendre, M. le Dr Dunant ;

M. J. Lemaitre nous a fait verser 100 *f*.

Nous rappellerons enfin l'abandon fait à notre profit, par trente-deux de nos membres, de quatre-vingts bons de notre emprunt d'Exposition de 1889, s'élevant ensemble à 4 000 *f*.

Décorations françaises.

Nous avons la satisfaction de vous rappeler aussi les distinctions honorifiques attribuées à nos collègues.

Deux de nos membres éminents, MM. G. Richemond et Janssen, ont été promus au grade de Commandeur dans l'Ordre de la Légion d'honneur.

Deux croix d'Officier du même ordre ont été décernées à MM. Ch.-A. Girard et A. Rueff.

Quatorze nominations de Chevalier ont eu lieu au profit de MM. H. Audebert, E. Beaudet, J. Boulogne, G. du Bousquet, F. Bourdet, F. Dehaitre, Wassner, P. Carié, F. Gain, C. Canovetti, L. Gasne, H. Japy, L. Baclé, E. Humbert.

Les palmes d'Officier d'Académie ont été données à MM. Bergeron et E. Bert.

Décorations étrangères.

Comme décorations étrangères, nous avons relevé : au titre de commandeur de Saint-Stanislas de Russie, le nom de M. F. Bourdet;

Commandeur du Medjidié, M. Govignon ;

Chevaliers d'Isabelle-la-Catholique, MM. Beau, Forsans, Charliat.

Officiers du dragon d'Annam, MM. Courtois et de Gennes auxquels il a été aussi remis, par le vice-roi du Tonkin, les brevets de Kim-Kanh.

Enfin comme Commandeur de l'ordre du Venezuela, M. Courau.

Commissions et nominations officielles.

D'importantes fonctions officielles ont été dévolues à un certain nombre de membres de notre Société.

Je signalerai particulièrement le choix que M. Picard, Commissaire général de l'Exposition universelle de 1900, a fait de notre éminent collègue, M. Delaunay-Belleville, pour le poste si élevé de directeur général de l'Exploitation. C'est d'un bon augure pour la grande œuvre à laquelle nous devons nous préparer avec la certitude d'y participer avec honneur. C'était déjà l'un des nôtres, M. le député Georges Berger, qui, en 1889, avait rempli la même fonction, on sait avec quel succès!

MM. Berthelot, Dietz-Monnin, Poirrier et Émile Trélat ont été nommés membres de la Commission supérieure de l'Exposition universelle de 1900; et, avec eux, le président de notre Société. Ainsi se trouve réalisé le vœu qu'émettait, il y a un an, M. Buquet, notre président sortant.

M. de Comberousse, ancien président de notre Société, a eu l'honneur d'être nommé membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique.

MM. Poirrier et Richemond, membres de la Commission consultative des Postes et Télégraphes;

M. Linard, membre de la Commission permanente de l'Agriculture;

M. Berthelot, vice-président, et MM. Champonnois, Hardon et Macherez, membres de la Commission chargée d'étudier les diverses propositions ayant pour but de favoriser le fonctionnement ou la création des distilleries agricoles :

M. L. de Chasseloup-Laubat, commissaire du Gouvernement français pour l'organisation des congrès à l'Exposition de Chicago ;

MM. Burgart, Edoux et Asselin, membres du jury international des récompenses à la même Exposition.

M. H. Couriot a été nommé chargé du cours d'exploitation des Mines à l'Ecole Centrale.

Plusieurs de nos collègues ont vu certains de leurs travaux, justement appréciés, leur faire attribuer de flatteuses récompenses. Nous citerons : Récompenses et Prix divers.

M. A. Normand, à qui l'Académie des Sciences a décerné le prix Plumey :

M. Michelin, qui a obtenu la grande médaille d'argent de la Société centrale des architectes, pour ses *travaux de serrurerie d'art*.

Notre Société, elle-même, a décerné, en 1893, plusieurs prix et médailles d'or, savoir :

Prix annuel, à M. Georges Leloutre, pour son travail relatif à la *Théorie générale de la machine à vapeur et la théorie de l'enveloppe;*

Prix Alphonse Couvreux, à M. Ed. Lippmann, pour sa relation sur le *Voyage en Hollande : Compte rendu et notes techniques;*

Sur le prix Giffard prorogé de 1890 à 1893, il a été accordé une médaille d'or et 2 000 fr. à M. Maurice Demoulin, pour son *Mémoire sur les progrès réalisés depuis 1878 dans la construction des machines à vapeur;*

Sur le prix Giffard 1893, il a été accordé également une médaille d'or et 2 000 fr. à MM. Louis Carette et Étienne Herscher, pour leur travail sur le *Chauffage des habitations, des écoles, des ateliers, des magasins et des édifices publics.*

Cette partie de la présente et succincte revue de l'année 1893 est, comme pour les précédents exercices, remarquablement importante et variée. Elle comprend principalement les communications faites à la tribune de notre Société; communications nombreuses, qui témoignent de sérieuses compétences et d'efforts louables, appliqués à des questions d'ordres divers, et que la libre discussion de nos séances anime, développe et rend plus profitables encore. Travaux de la Société.

L'énoncé qui suit, de ces communications, vous rappellera l'intérêt que nous y avons trouvé.

Section des Travaux publics, Chemins de fer, Constructions publiques et particulières

M. J. Fleury. — *Canal de la Baltique à la mer du Nord.*

M. E. Badois. — *Note sur l'alimentation d'eau de Paris et de sa banlieue, et sur l'assainissement de la Seine.*

M. P. Duvillard. — *Le « Tout à l'égout ».*

Cette importante question du *Tout à l'égout* a donné lieu à une discussion très nourrie dans laquelle nous avons successivement entendu : MM. Trélat, Herscher, Hallopeau, Thomas, Badois, Guéroult, Périssé, Duvillard, Chardon, Fleury, Bonna, Lencauchez, Péretmère, Pettit, Hersent, Neveu, Jousselin, Deligny, Coignet, Vauthier, Decaux.

M. L. Hubou. — *Comparaison des systèmes d'enclenchements des appareils de la voie.*

M. de Salis. — *Le matériel agricole à l'Exposition des Champs-Élysées en 1893.*

M. J.-J. Heilmann. — *Note sur une locomotive électrique.*

M. A. LAVEZZARI. — *Mécanismes employés pour le démarrage des locomotives compound; leur suppression complète sur une machine de l'État autrichien.*
M. KÉROMNÈS. — *Les tubes Serve.*
M. A. DE DAX. — *Le Jauréguiberry.*
M. HAAG. — *Lettre sur le Métropolitain de Berlin.*
M. YANKOWSKY. — *Note complémentaire sur la résistance des terrains sablonneux aux charges verticales* (Présentée par M. Vallot).

SECTION DE LA MÉCANIQUE ET SES APPLICATIONS; CHAUDIÈRES ET MACHINES A VAPEUR.

M. BERTRAND DE FONTVIOLANT. — *Moments fléchissants dans les poutres continues.*
M. CANOVETTI. — *Lettre sur la communication de M. Bertrand de Fontviolant relative au calcul des ponts métalliques à travées continues.*
M. R. SOREAU. — *Direction des ballons.*
M. MICHELIN. — *Bandage pneumatique en caoutchouc, appliqué aux roues des véhicules.*
M. M.-L. LANGLOIS. — *Calcul rigoureux des charpentes métalliques sur colonnes.*
M. M.-L. LANGLOIS. — *Nouvelles formules générales de déformations, permettant de calculer rigoureusement les poutres en treillis à brides parallèles.*
M. PIERRE REY. — *Flexion des montants d'un pont à entretoisement supérieur.*
M. F. CHAUDY. — *Action des vents sur les ponts métalliques à poutres continues.*
M. F. CHAUDY. — *Emploi de l'assemblage à glissière dans la construction des volants.*
M. CH. COMPÈRE. — *Cause des accidents des chaudières multitubulaires.*
M. CH. COMPÈRE. — *Les régulateurs de vitesse.*
M. A. DOUMERC. — *Le surchauffeur Schwœrer.*
M. P. JANNETTAZ. — *Dureté des métaux; méthode de mesure fondée sur l'emploi du microscope.*
M. N. DE TÉDESCO. — *Essieu radial à bielles de guidage.*
M. YANKOWSKY. — *Note complémentaire sur la résistance des terrains sablonneux aux charges verticales.* Présentée par M. Vallot. (Note déjà citée à la section des Travaux publics.)
M. S. PÉRISSÉ. — *Chaudières de la raffinerie Say (résumé de la communication de 1892 pour la discussion).*
Cette communication a été suivie d'une discussion à laquelle ont pris part, MM. Euverte, Pourcel, Compère, Gallois, Lencauchez et Chuwab.
M. POURCEL. — *Lettre-note à propos de la communication de M. S. Périssé sur les chaudières de la raffinerie Say.*

SECTION DES TRAVAUX GÉOLOGIQUES, MINES, MÉTALLURGIE, SONDAGES.

M. A. BRÜLL. — *Bibliographie : Traité des gîtes minéraux et métallifères de MM. Fuchs et de Launay.*

M. E. Gruner. — *Atlas du Comité central des Houillères de France* (Présenté par M. A. Brüll).

M. A. Lencauchez. — *Les briques en magnésie d'Eubée*, qui ont donné lieu à d'intéressantes observations de MM. Regnard et Jousselin.

Section de physique et chimie industrielles.

M. G. Richard. — *Bibliographie : Traité de la machine à vapeur de M. le Pr Thurston, traduit de l'anglais par MM. Demoulin et Bonnel.* — Deux lettres de MM. A. Mallet et G. Richard ont complété cette bibliographie.

M. A. Mallet. — *Bibliographie : Répertoire analytique de la presse scientifique.*

M. J. Garçon. — *Note sur les appareils et machines à teindre.*

M. J. Gaudry. — *La Société des Ingénieurs Civils pendant le siège de Paris.* — Travail au sujet duquel nous avons reçu deux lettres de MM. Ch. Lucas et Gaudry.

M. Cazaubon. — *Pulvérisateurs contre les maladies cryptogamiques de la vigne.* — M. Bourdil a complété cette communication par de très utiles remarques.

M. A. Cornaille. — *Note sur les greniers à silos.*

M. Le Verrier. — *Essais de traction après soudure, faits sur divers métaux.*

M. Lencauchez. — *Lettre au sujet d'un travail de MM. Andraud et Tessié du Motay, datant de 1840, sur l'air comprimé.*

M. O. de Rochefort-Luçay. — *Procédés Bertrand pour recouvrir d'oxyde magnétique et émailler le fer et les carbures de fer.* — MM. du Bousquet, Gassaud et Bertrand, ont présenté à ce sujet des observations des plus judicieuses.

M. Raoul Pictet. — *Le rôle des basses températures en chimie*, qui nous a valu une lettre intéressante de M. P. Berthot.

Section de l'électricité.

MM. G. Dumont et E. Bernheim. — *Emploi du téléphone dans les chemins de fer.*

M. G. de Chasseloup-Laubat. — *Note sur les courants alternatifs polyphasés.*

M. L. Hubou. — *Comparaison des systèmes d'enclenchements des appareils de la voie* (étude déjà citée dans la section des Travaux publics).

M. J.-J. Heilmann. — *Note sur une locomotive électrique* (étude déjà citée dans la section des Travaux publics).

M. Houbigant. — *Installation électrique dans une usine.*

M. Ch. Haubtmann. — *La téléphonie militaire et le système Charollois.*

M. A. de Bovet. — *Touage par adhérence magnétique.*

Divers.

M. P. Desgranchamps. — *Lettre sur les accidents du travail*, avec observations de M. Ed. Simon.

MM. Ch. Robert et Goffinon. — *Applications pratiques de la participation aux bénéfices dans l'industrie*, suivie d'une discussion par MM. Balas, Buquet, Euverte, Féolde, J. Fleury, Gassaud, Remaury, Marguerite, Delacharlonny, E. Bert et S. Périssé.
M. E. Bert. — Bibliographie : Analyse de l'ouvrage de M. Lescasse : *Les moyens de développer le commerce extérieur de la France.*
M. J.-D. Colladon. — *Autobiographie* (compte rendu présenté par M. A. Mallet).
M. P. Jousselin. — *Compte rendu de l'inauguration des travaux de l'adduction des eaux de l'Avre.*
M. P. Regnard. — *Compte rendu de divers travaux de sections au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences tenu à Besançon en 1893.*
M. Bélélubsky. — *Lettre-note sur les travaux de la Conférence de Vienne relative à l'unification des méthodes d'essai des matériaux.*
M. Louis Rey. — *Compte rendu du Voyage aux États-Unis.*
M. A. de Dax. — *Note sur l'excursion complémentaire aux États-Unis : Voyage au Canada et à Boston.*

Outre ces nombreuses communications, souvent originales, documentées, appuyées sur des études savantes et des expériences; en outre des discussions; outre les lettres et documents divers dont nos procès-verbaux conservent le souvenir;

Nous avons encore reçu plusieurs études et notes intéressantes de nos correspondants et membres habitant la province ou à l'étranger.

En voici l'énumération succincte :

M. J. de Koning. — *Note sur la construction d'un port à Tandjong-Priok (Java) ;*
M. H.-D. Woods. — *Les routes et leur entretien aux États-Unis ;*
M. A. Léger. — *Le palais principal de l'Exposition de Lyon en 1894 ;*
M. Zdziarski. — *Nouvel excavateur à chevaux « New Era » de Austin ;*
M. Federman. — Bibliographie : *Projet de transport de 10 960 et 34 000 chevaux de force à Milan*, par E. Carli ;
M. Federman. — *Les gisements aurifères de l'Italie ;*
M. A.-F. Ventre-Bey. — *Quelques notes sur l'hydrologie du bassin du Nil.*

La Chronique de notre Bulletin, traitée avec tant de compétence par notre savant collègue, M. Mallet, ajoute encore à la valeur de nos publications.

Aussi nos collections et nos archives, qui s'enrichissent chaque année, sont-elles précieuses et estimées entre toutes, en même temps que notre Bibliothèque s'augmente constamment des apports qui lui sont faits.

D'autre part, l'activité de nos collègues ne se limite pas à la tenue de nos séances. Elle s'est encore manifestée en 1893, notamment dans plusieurs Congrès.

Par exemple :

A la Conférence de Vienne, pour l'unification des méthodes d'essai

des matériaux, où M. le professeur Bélélubsky a bien voulu accepter notre délégation;

Au Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences tenu en 1893 à Besançon, et où nous avions délégué MM. J. Fleury, P. Regnard, A. Peugeot et Ch. Herscher;

Au Congrès des Travaux maritimes, tenu à Londres dans les salles de l'Institut des Ingénieurs Civils, et auprès duquel nous avions demandé à MM. de Bovet, de Coëne, L. Coiseau, J. Fleury, H. Hersent, Molinos et Pontzen, de nous représenter.

Faut-il vous dire un mot encore de ce merveilleux voyage aux États-Unis, qu'ont patriotiquement entrepris plus de quarante de nos collègues, dont je tiens à vous rappeler ici les noms.

Ce sont MM. A. Angély, Léopold Appert, E. Beaudet, P. Betim Paës Lème, J. Bidermann, L. Billaudot, H. Boulte, E. Bourgeois, A. Brancher, F. Brauer, F. Brault, C. Burgart, Alfred Cornaille, André Cornaille, A. de Dax, A. Détanger, A. Domange-Scellos, L. Dufès, A. Dumont, A. Goblet, G. Grobot, H. Halbertsma, H. Jungck. J. Keller, E. Krieg, L. Lombart, G. Lordereau, H. Marchais, Ch. Marteau, A. Ostermann, Ch. Pierron, J. Pillet, C. Pinchart-Deny, Ch. Pinel, G. Portier, Louis Rey, H. Salomon, M. Supplisson, G. Thareau, V. Toussaint; auxquels se sont joints, en cours de route, MM. L. de Chasseloup-Laubat, G. de Chasseloup-Laubat, Cosmovici, Paciuréa, de Renéville, Paul Schneider, Th. Turettini.

A l'occasion de l'Exposition de Chicago, diverses Sociétés d'Ingénieurs américains nous avaient invités à visiter les États-Unis. Notre président Jousselin, comprenant le grand intérêt qu'il y avait pour notre Société à répondre à cette aimable invitation, s'était inscrit le premier sur la liste des adhérents et comptait bien prendre la tête du groupe important qui se préparait à traverser l'Atlantique avec lui.

Un douloureux devoir de famille retint en France le président dévoué que nous devions, hélas! bientôt perdre. Il était pourtant encore des nôtres au retour des voyageurs et présida même la séance du 20 octobre dernier, dans laquelle M. L. Rey rendait compte de la prestigieuse excursion accomplie par nos délégués, dirigés par ce très distingué collègue. M. Rey avait, en effet, bien voulu accepter cette lourde tâche et s'en est acquitté au grand honneur de notre Société. M. de Dax, qui était parti comme simple volontaire au même titre que tous ses collègues, retarda son retour avec plusieurs, pour se rendre au Canada et à Boston. Le même accueil cordial leur fut partout réservé.

Je renonce à regret au plaisir de vous rappeler les détails du beau voyage réalisé par la délégation de notre Société. Sur la proposition de M. Jousselin, des remerciements chaleureux ont été transmis en notre nom, à tous les Ingénieurs, Sociétés, Compagnies et Associations d'Ingénieurs qui ont reçu, accompagné, guidé et aidé les nôtres avec une cordialité et une générosité dont nous leur gardons une profonde reconnaissance. M. Jousselin n'a pas manqué non plus, comme c'était justice, de remercier particulièrement M. L. Rey, qui a suppléé notre président empêché et l'a fait avec un dévouement que nous connaissons de

longue date. M. Rey, de son côté, nous avait fait connaitre combien nous devions aussi de remerciements à MM. de Chasseloup-Laubat, Pillet, Halbertsma et de Dax.

Nous devons enfin à tous les membres de la délégation d'avoir représenté dignement la Société des Ingénieurs Civils de France, et d'avoir ainsi augmenté le bon renom et l'autorité qu'on veut bien lui attribuer partout maintenant, et chaque jour davantage.

Nous le devons, messieurs, à quelque chose qui fait notre force et qui commande la considération : nous sommes ici réunis librement; nous travaillons avec sincérité; nous nous estimons et nous respectons les uns les autres. On peut résumer en quatre mots les qualités que nous recherchons parmi nous; ces quatre mots sont : Honneur, Savoir, Travail, Progrès. *(Applaudissements.)*

(S'adressant à M. du Bousquet, nouveau Président) :

MON CHER COLLÈGUE,

Je vous invite maintenant à occuper la place à laquelle vous ont appelé nos suffrages unanimes.

Nous vous avons vu à l'œuvre au milieu de nous et votre réputation vous désignait d'ailleurs à notre choix. Vous êtes pour nous un exemple et un encouragement. C'est uniquement par votre savoir, vos talents et votre caractère, que vous avez acquis la haute situation à laquelle vous êtes parvenu dans la grande industrie des chemins de fer. Vous y avez conquis successivement tous vos grades, en marquant partout votre passage par des travaux qui resteront.

La Société des Ingénieurs Civils de France met entre vos mains sa direction, en toute confiance; vous pouvez aussi compter, je vous l'assure au nom de tous, sur le dévouement de chacun pour vous seconder dans votre mission. *(Applaudissements répétés.)*

M. G. DU BOUSQUET, nouveau Président, après avoir serré la main de M. Ch. Herscher, prend place au fauteuil et prononce le discours suivant :

MON CHER COLLÈGUE,

Nous vous savons un gré extrême d'avoir bien voulu faire depuis quelque temps l'intérim de la Présidence et présenter aujourd'hui à la Société le compte rendu des travaux qui ont été accomplis dans l'année. Vous vous êtes acquitté de cette tâche difficile et délicate avec le plus grand succès. L'assemblée qui, par ses applaudissements, vous a déjà témoigné toute sa satisfaction, vous adresse, par la voix de son Président, ses très sincères compliments. *(Applaudissements.)*

Vous avez su trouver, pour rendre la douleur que nous a fait éprouver une perte cruelle, des accents touchants. L'éloge que vous avez fait de notre regretté Président rendait bien la pensée commune, et, là encore, je vous dois tous nos remerciments.

Mais il est un point sur lequel je ne saurais tomber d'accord avec vous : vous avez parlé de moi en termes beaucoup trop élogieux et vous m'en voyez tout confus.

Je crains que vous n'ayez ainsi fait concevoir à cette assemblée de trop grandes espérances, des espérances auxquelles je ne saurais pas répondre! Je suis très reconnaissant à votre amitié, mais vous m'avez vraiment rendu bien perplexe.

MES CHERS COLLÈGUES,

Avant de vous remercier, votre Président a, d'ordinaire, un premier devoir à remplir. Il convient qu'il adresse quelques paroles flatteuses à celui qui, après être resté en fonctions pendant un an, quitte le fauteuil.

Les tristes circonstances que nous venons de traverser ne le permettent pas cette année; je ne puis rien dire à celui qui n'est plus, et tout ce qui pouvait être dit de lui a été dit en termes excellents.

Je m'adresserai donc aux anciens Présidents qui, par les talents qu'ils ont montrés, par le zèle infatigable qu'ils ont déployé, ont amené notre Société à un si haut degré de prospérité.

C'est vous, mes chers prédécesseurs, qui lui avez valu la considération dont elle jouit dans l'univers entier, comme une voix très autorisée le proclamait il y a quelques jours.

C'est vous qui avez provoqué et mis en lumière tant de travaux remarquables apportés à sa tribune. Vous l'avez représentée dignement aux différentes Expositions. Vous lui avez fait donner toujours et partout la place à laquelle elle a droit. Vous lui consacrez encore une partie de votre temps, et le nouveau Président est heureux de vous trouver pour guider ses premiers pas.

Je crois donc être l'interprète de la Société tout entière en saisissant avec empressement l'occasion qui m'est offerte de vous remercier chaleureusement. *(Applaudissements.)*

MES CHERS COLLÈGUES,

En m'appelant à la Présidence de la Société, vous m'avez donné une marque d'estime dont je suis extrêmement fier.

Je ressens plus vivement que je ne saurais le dire l'honneur qui m'est fait.

L'étendue de mes devoirs m'apparait vraiment grande, et je me demande comment je m'y prendrai pour répondre à la confiance que vous avez bien voulu mettre en moi.

Quels que soient mon zèle et mon dévouement, je resterai certainement au-dessous de ma tâche si je n'ai pas l'aide de tous. Je viens de réclamer celle des anciens Présidents, je sollicite maintenant la vôtre, et j'ai le ferme espoir que votre bienveillant concours, sans lequel je ne pourrais rien, ne me fera pas défaut.

MES CHERS COLLÈGUES,

Il est de tradition dans la Société que votre Président, dans la première séance de l'année, vous entretienne de quelque sujet présentant un caractère d'actualité.

Je n'aurais garde de manquer à ce devoir, bien que je considère comme extrêmement redoutable de parler devant vous. Je ne retrouve un peu de courage qu'en songeant que si je parle à des Ingénieurs très éminents, je m'adresse en même temps à des amis très indulgents, si indulgents qu'ils m'ont presque tous donné leur voix.

Vous n'attendez pas, j'en suis sûr, que je vous parle métallurgie après M. Jordan, travaux publics après M. Hersent ou chimie après M. Buquet, et il vous semblera tout naturel que je me sois arrêté à une question de chemins de fer.

Parmi bien des sujets, il en est un qui s'est présenté obstinément à ma pensée :

On parle beaucoup depuis quelque temps, dans les journaux et dans le public, de la possibilité de porter la vitesse des trains à 150 et 200 *km* à l'heure. On a même été jusqu'à prononcer le chiffre de 250 *km*.

J'ai pensé que je pourrais retenir votre attention pendant quelques instants en vous montrant combien ces grandes vitesses seraient difficiles à atteindre et quel énorme déploiement de force elles exigeraient.

Je crois utile auparavant de vous faire en quelque sorte l'historique de la vitesse.

Il m'est tombé sous la main il y a quelques jours un livre publié en 1765, à Paris, sous le titre de *Coup d'œil général sur la France*, par M. Brion, Ingénieur géographe du Roi.

Ce livre, ou plutôt cet album, renferme un très grand nombre de belles cartes qui portent l'indication des principales routes de France à cette époque.

« C'est, dit l'auteur, un guide des voyageurs ou indicateur fidèle » » qui met sous les yeux les routes qu'il faut tenir pour aller d'une » » ville à une autre et les distances qui se trouvent entre chacune de » » ces villes.

» Afin de pouvoir partir d'un point fixe, on a choisi Paris pour » » centre, c'est-à-dire que l'on suppose un voyageur qui veut se trans- » » porter de Paris dans les différentes villes du royaume et de ces » » villes à Paris ; on lui a tracé avec exactitude tous les lieux qui se » » trouvent sur son passage, et, s'il faut le dire, on a compté tous ses » » pas.

» Chacune des routes est sur une carte séparée, dont le prix est fort » » modique, et chaque carte est enluminée de manière que l'on y con- » » naît les limites des provinces, les villes, les bourgs, les villages, les » » montagnes, les prés, les bois. On a même porté l'exactitude jusqu'à » » faire distinguer à l'œil les chemins plantés d'arbres sous lesquels » » on peut marcher à couvert.

» Communément, celui qui entreprend une route consulte ceux » » qui l'ont faite avant lui ; s'il est en chemin, il s'informe, à mesure » » qu'il avance, du nombre de lieues qui lui restent à faire, des en- » » droits où il peut prendre ses repas ou passer le temps de la nuit, et » » rarement on lui donne là-dessus des réponses précises. Avec une de » » nos cartes, le voyageur n'a aucun besoin de toutes ces demandes ; » » il voit tous les endroits par lesquels il doit passer et une juste me- »

» sure de leur éloignement respectif; il connaît en même temps les »
» bourgs, les villages, les hameaux, les fermes, les maisons religieuses, »
» les bois, les prés, les avenues, les rivières, les ponts, les gués, les »
» ruisseaux et les marais, enfin jusqu'aux montagnes et aux plaines »
» qu'il doit traverser.

» Veut-il se servir des voitures établies pour le public, comme di- »
» ligences, coches, carrosses, messageries, il voit à côté de la carte »
» un itinéraire instructif et raisonné qui indique le jour, l'heure du »
» départ, la dînée, la couchée de ces voitures et le nombre de lieues »
» qu'elles font par jour; souvent plusieurs routes mènent à un même »
» endroit, on les a mises à côté l'une de l'autre et le voyageur trou- »
» vera dans toutes une exactitude égale. »

Vous pensez bien que je n'ai eu garde de négliger une pareille trouvaille !

J'ai sauté sur la carte Paris-Bordeaux pour chercher à quelle heure partait le rapide et à quelle heure il arrivait :

Voici la route du carrosse Paris-Bordeaux en 1765 :

On partait de Paris tous les mardis à 11 heures du matin et le premier jour on couchait à Arpajon à 7 heures du soir; le second jour, on repartait à 4 heures du matin, on dînait à Monerville à 11 heures et on couchait à Thoury à 7 heures.

Vous voyez que les journées étaient bien remplies.

Le troisième jour,	dîner	à Orléans,	coucher	à Saint-Laurent.
Le quatrième,	—	à Blois,	—	à Ecures.
Le cinquième,	—	à Amboise,	—	à Tours.
Le sixième,	—	à Sainte-Maure,	—	à la Celle.
Le septième,	—	à Châtellerault,	—	à Clan.
Le huitième,	—	à Poitiers,	—	à Lusignan.
Le neuvième,	—	à Chey,	—	à Saint-Léger.
Le dixième,	—	à Brioux,	—	à Aulnay.
Le onzième,	—	à Saint-Jean,	—	à la Nollerie.
Le douzième,	—	a Saintes,	—	à Pons.
Le treizième,	—	à Mirambeau,	—	à Etauliers.

Le quatorzième, arrivée à Blaye à 11 heures du matin.

Le reste de la route se faisait par eau, mais le prospectus n'indique ni l'heure de départ, ni l'heure d'arrivée.

Vraisemblablement on devait être à Bordeaux le quinzième jour vers 11 heures du matin, ayant mis quatorze jours pleins pour aller de Paris à Bordeaux.

Notre collègue, M. E. Polonceau, nous y conduit aujourd'hui en 8 heures 42 minutes.

La vitesse commerciale du voyageur qui s'obtient, comme vous le savez, en divisant la distance par le temps, sans défalquer les arrêts, était donc, à cette époque, de 1,75 *km* par heure.

En retranchant les arrêts, on tombe, comme vitesse moyenne de marche, sur 5 *km* environ par heure.

On fit des progrès très rapides, car, en 1782, on trouve des temps de parcours beaucoup moindres.

Voici, en effet, d'après *la Revue Universelle*, les durées successives des

voyages de Paris aux principales villes de France à différentes époques. Je vous les donne dans l'ordre où je les ai trouvées :

	1650	1782	1814	1834	1854	1893
	heures	*heures*	*heures*	*heures*	*heures*	*heures*
Calais.	123	60	40	28	6,40	4,00
Lille	105	42	34	22	4,50	3,20
Mézières.	110	40	34	22	17,00	4,56
Forbach.	171	93	55	38	10,50	9 36
Strasbourg	218	108	70	47	10,40	9,32
Belfort	182	98	59	39	17,51	6,57
Besançon	166	92	57	37	15,51	6,48
Genève	245	158	75	48	19,51	11,13
Nice	438	221	140	98	65,30	20,20
Marseille	359	184	112	80	39,20	13,44
Montpellier	356	193	112	77	42,49	14,47
Toulouse	330	198	104	70	31,15	13,34
Bayonne	358	200	116	64	27,45	12,06
La Rochelle.	227	108	72	41	19,25	9,13
Nantes	172	90	56	37	9,33	7,52
Brest.	270	175	86	61	36,00	12,40
Le Havre.	97	52	31	17	5,15	3,30

Ce tableau fait ressortir les progrès considérables réalisés par les administrations des voitures publiques de 1650 à 1834, puis ceux qui résultèrent de l'emploi des chemins de fer.

Les chiffres qu'il contient sont proportionnels à la vitesse commerciale.

Mais la vitesse commerciale n'est pas celle qui intéresse le plus l'ingénieur; si, en effet, on augmente le stationnement dans telle ou telle gare, pour quelque raison d'exploitation, la locomotive n'y peut rien.

Il est évident que pour faire ressortir les progrès accomplis par la locomotive, ce sont les vitesses moyennes de marche, aux différentes époques, qu'il convient de comparer entre elles. Voici quelques chiffres :

La plus grande vitesse entre stations relevée en Angleterre sur les itinéraires était

De 71,6 *km*. . . . . en 1873
De 79,4 . . . . en 1883
De 82,6 . . . . en 1889
De 86 . . . . en 1893

Pour l'Allemagne et l'Amérique, je manque de données antérieures à 1893, je puis seulement vous dire qu'on relève en 1893 sur la ligne de Berlin à Hambourg une vitesse de 83 *km* et en Amérique, sur celle de New-York à Chicago, entre Syracuse et Rochester, une vitesse de 89 *km*.

En France, les vitesses ont varié comme suit :

62 *km* . . . . en 1873
69,6 . . . . en 1883
72 . . . . en 1889
82 . . . . en 1893.

C'est donc l'Amérique qui, pour parler le langage fin de siècle, détient en ce moment le record de la vitesse moyenne avec. . 89 *km*.

Puis vient l'Angleterre avec 86
— l'Allemagne avec. 83
— la France avec 82

Nous venons donc les derniers, je le constate avec regret, bien que la différence soit peu considérable. Je puis vous dire, dès à présent, que cela tient à ce que, à l'encontre des autres nations, nous ne limitons pas suffisamment la charge de nos grands rapides. Quoi qu'il en soit, il est indispensable que nous montions au moins d'un rang et nous le ferons.

La vitesse moyenne de marche, elle-même, ne représente pas fidèlement le travail qu'accomplit la locomotive.

Sa marche est, en effet, loin d'être uniforme. Il y a perte de temps aux démarrages, aux arrêts, il peut y en avoir au passage des bifurcations, des ponts tournants, de certaines courbes, enfin la vitesse est plus grande à la descente des pentes, moindre à la montée des rampes quelque peu longues. On ne peut, en effet, franchir les rampes par élan que quand elles sont très courtes.

Quelle peut être la vitesse maxima à la descente des pentes?

Cela dépend évidemment de la pente.

Sur les grandes lignes, où les pentes ne sont pas considérables, la vitesse permise par les règlements de certains réseaux est de 120 *km* à l'heure. Elle a été réglée par un arrêté ministériel déjà très ancien; il remonte à 1852.

En fait, les vitesses de 110 et même 120 *km* à l'heure sont atteintes tous les jours, pendant de longs trajets, sur certaines pentes et cela depuis un très grand nombre d'années.

Peut-être quelques personnes diront-elles que si on peut atteindre sans inconvénient la vitesse de 120 *km* à la descente, cela tient à ce qu'en pente la machine ne travaille presque pas. Ce serait, mes chers Collègues, une grave erreur de le croire; **pour descendre une pente de 5 *mm* avec un train de 150 à 180 tonnes à la vitesse de 120 *km* à l'heure, il faut faire rendre à la locomotive son travail maximum**: je vous le montrerai dans quelques instants. Il est donc établi qu'on peut, sans inconvénient, sur nos grandes lignes à faibles pentes et à courbes de grands rayons, marcher à 110 et à 120 *km* à l'heure. Vous en conclurez avec moi, mes chers Collègues, que si l'on ne soutient pas cette vitesse sur tout le trajet d'un train, ce n'est pas à un défaut de stabilité de la machine locomotive qu'il faut s'en prendre.

Les mouvements de galop, de lacet, de tangage que prenaient certaines locomotives primitives à essieux trop rapprochés, s'atténuent au point de disparaître quand on donne à la machine une base d'appui suffisante, qu'on supprime les porte-à-faux et qu'on place convenablement les cylindres.

La machine Crampton, ce cheval de course prodigieux qui date de 1849, remplissait déjà toutes ces conditions.

Mais alors, direz-vous, pourquoi ne marchez-vous pas partout à 120 *km* à l'heure?

Cela nous permettrait d'aller à Marseille en 7 heures;
à Bordeaux en 5 heures;
à Belfort en 3 h. 45;
à Lille en 2 h. 15;
au Havre en 2 heures.

Je pourrais vous répondre qu'il y a certains points où on limite la vitesse: les grandes gares, les bifurcations, les ponts tournants; mais vous me diriez que depuis longtemps déjà en Angleterre on a fait disparaître ces causes de ralentissement en verrouillant les aiguilles, en les enclenchant avec les signaux et en disposant convenablement ceux-ci, et qu'on passe alors sur ces points à toute vitesse. C'est exact et, en France, sur certains réseaux, on a suivi cet exemple, ce qui vous explique pourquoi la vitesse moyenne y est plus élevée.

Je dirais bien encore et avec raison qu'une grosse perte de temps provient de la lenteur des démarrages; qu'on y remédie, il est vrai, en donnant aux machines une puissance telle qu'au moment du départ elles puissent développer un effort de 8 à 10 000 *kg*, mais que malgré cette force considérable on n'atteint la vitesse de régime qu'au bout de quelques kilomètres, à moins qu'une pente ne vous favorise ou que, comme le font les Anglais sans hésiter, on ne fasse pousser le train par une seconde locomotive, ce qui double la force produisant l'accélération. J'alléguerais bien encore qu'une autre perte de temps très importante se produisait au moment des arrêts : il fallait serrer les freins plus d'un kilomètre avant les stations; mais l'emploi des freins continus est venu y porter remède dans une très large mesure. Avec ces freins, il ne faut pas plus de temps pour arrêter 16 véhicules que pour en arrêter un. Toutes ces raisons, je le sens bien, n'ont à vos yeux qu'une valeur relative; vous vous dites qu'il y a autre chose, quelque chose que je ne veux pas vous dire.

Ainsi poussé, je vous ferai un aveu pénible mais dépourvu d'artifice.

Si nous ne marchons pas partout à 120 *km*, c'est que nous ne le pouvons pas.

La locomotive n'a pas actuellement la puissance nécessaire pour remorquer à cette vitesse, ailleurs que dans les pentes, les trains qu'on lui donne à traîner.

Il ne s'agit donc pas d'une question de sécurité venant d'un manque de stabilité de la locomotive, mais bien d'une question de puissance.

Le moment est venu de vous parler du véritable ennemi de la vitesse. Cet ennemi, c'est la rampe.

Quoi, direz-vous, les rampes! Mais sur vos grandes lignes vos rampes sont insignifiantes; elles ne sont au plus que de 5 *mm* par mètre. Qu'est-ce que 5 *mm*? Dans nos rues nous avons des rampes de 30, 35, 40, 50 *mm* par mètre.

J'en conviens, mes chers Collègues, la rampe de 5 *mm* n'est pas grand'chose, mais cependant cet ennemi, tout petit qu'il soit, est un ennemi extrêmement redoutable.

Je vous en fais juge.

L'inclinaison de 5 *mm* par mètre donne naissance à une composante de la pesanteur égale à $\frac{1}{200}$ soit 5 *kg* par tonne. Si donc vous avez à trainer 200 tonnes, la machine devra faire sur le train un effort supplémentaire de 1 000 *kg*.

Supposons pour un instant que nous voulions marcher à 120 *km* à l'heure, c'est-à-dire à 33,33 *m* par seconde, le travail supplémentaire dû à la petite rampe sera de 33 330 *kgm* par seconde, c'est-à-dire de 444 *ch*.

Remarquez que je n'ai pas tenu compte de l'influence de la gravité sur la machine. Si j'en avais tenu compte, j'aurais trouvé 622 *ch*. Ainsi la locomotive marchant à 120 *km* à l'heure en palier devrait développer un travail supplémentaire de 622 *ch* pour conserver en rampe cette même vitesse.

Je suis sûr que maintenant vous trouvez comme moi que ce petit ennemi est un ennemi redoutable.

Mais si vous voulez bien me prêter encore quelque attention vous verrez que nous arriverons tout à l'heure à des chiffres bien autres encore.

Par de nombreuses expériences on a déterminé, à l'aide du dynamomètre, les résistances par tonne que le train oppose au mouvement, en palier, à différentes vitesses. **Ces résistances relevées sur la barre d'attelage du tender sont seulement les résistances du train et elles ne comprennent pas la partie de la résistance de l'air qui s'exerce à l'avant de la machine ni celles de la machine elle-même.** J'insiste sur ce point d'une manière toute particulière. Les expériences n'ont porté que sur des vitesses comprises entre 60 et 120 *km* à l'heure. On a cherché une formule qui en comprenne les résultats, puis, d'après cette formule, on a calculé les résistances par tonne au delà de 120 et jusqu'à 200 *km* à l'heure. Les chiffres ainsi obtenus sont très probablement trop faibles; néanmoins, ils suffiront pour ma démonstration.

Ces chiffres trouvés, on obtient ceux qui sont relatifs à la pente de 5 *mm* en retranchant 5 et ceux relatifs à la rampe de 5 *mm* en ajoutant 5.

On obtient ainsi un tableau dont je vais vous donner connaissance :

RÉSISTANCE PAR TONNE EN KILOGRAMMES

Vitesse.	En pente de 5.	En palier.	En rampe de 5.
50	— 2	3	8
60	— 1	4	9
70	0	5	10
80	1	6	11
90	2,6	7,6	12,6
100	4,16	9,16	14,16
110	6	11	16
120	8	13	18
130	10	15	20
140	12,5	17,5	22,5
150	15	20	25
160	17,66	22,66	27,66
170	20,5	25,5	30,5

Vitesse.	En pente de 5.	En palier.	En rampe de 5.
—	—	—	—
180	23,5	28,5	33,5
190	26,6	31,6	36,6
200	30	35	40

N'allez pas croire que j'exagère les chiffres ; celui que j'indique pour 80 *km*, par exemple, est inférieur à ceux que donnent les formules en usage sur le P.-L.-M, sur l'Orléans, sur l'Est et en Allemagne.

Ces résultats sont très intéressants.

On voit que sous un même effort de traction de 8 *kg* par tonne un train prend :

Une vitesse de 120 *km* sur pente de 5.
— 92 en palier.
— 50 en rampe de 5.

Le travail de la machine dans les trois cas est du reste très différent puisque ce travail est proportionnel à la vitesse.

Il est donc plus intéressant, au lieu de comparer les résistances par tonne sur différents profils à différentes vitesses, de comparer dans les mêmes conditions le nombre de chevaux nécessaire pour remorquer une tonne.

Rien n'est plus simple, mes chers Collègues, que de le calculer. On connait la résistance par tonne, en multipliant par la vitesse en mètres par seconde, on a le travail en kilogrammètres ; en divisant par 75 on a le travail en chevaux-vapeur.

Le premier tableau établi, on passe donc bien facilement au second.

TRAVAIL « EN CHEVAUX » NÉCESSAIRE POUR FAIRE MOUVOIR UNE TONNE D'UN TRAIN SOUSTRAIT A LA RÉSISTANCE DIRECTE DE L'AIR A DIFFÉRENTES VITESSES SUR DIFFÉRENTS PROFILS :

Vitesses.	En pente de 5.	En palier.	En rampe de 5.
—	—	—	—
	Chevaux.	Chevaux.	Chevaux.
50	négatif	0,555	1,5
60	négatif	0,89	2
70	nul	1,3	2,6
80	0,30	1,77	3,22
90	0,86	2,53	4,19
100	1,55	3,4	5,24
110	2,44	4,47	6,5
120	3,55	5,77	8
130	4,81	7,21	9,6
140	6,50	9	11,6
150	8,33	11	14
160	10,46	13,4	16,4
170	12,90	16	19
180	15,66	19	22,33
190	18,70	22,22	25,7
200	22	26	29,6

On voit :

1° Que la machine faisant le même travail de :

ch par tonne, on marche	à un peu plus de	80 *km*	en rampe de 5.
—	exactement à	100	en palier.
—	à un peu moins de	120	en pente de 5.

2° Qu'il faut, comme je vous le disais, utiliser toute la puissance de la machine pour arriver à marcher à 120 *km* en pente de 5. Supposons en effet un train de 200 *t*, machine non comprise, vous aurez à produire un travail de 200 $\times$ 3,55 = 710 *chx*.

3° Que pour gagner quelques kilomètres à l'heure dans les vitesses élevées il faut dépenser un travail considérable.

Ainsi, pour passer de 110 à 120 *km* à l'heure, pour gagner 10 *km* à l'heure, il faut dépenser 1 cheval de plus par tonne remorquée, soit pour un train de 200 *t*, 200 *chx* en pente de 5.

En rampe de 5 il faudrait 1,5 *ch* par tonne.

Soit, pour un train de 200 *t*, 200 $\times$ 1,5 = 300 *chx*.

La progression du travail avec la vitesse conduit naturellement à diminuer la charge du train au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse ; cependant, il ne faut pas compter pouvoir réduire cette charge indéfiniment; vous ne le pourriez qu'en enlevant aux voyageurs les commodités que vous leur avez données : wagons-lits, wagons-restaurants, wagons-salons ; et je ne crois pas que ce soit possible, car, si vite qu'on aille, il faudra toujours passer en chemin de fer un jour ou une nuit, quand on ira à Moscou ou Constantinople. Le train de 100 *t* me parait, dans ces conditions, un minimum, si on veut se souvenir qu'un wagon-restaurant ou un wagon-lit pèse 30 *t*.

Prenons donc le train de 100 *t* (machine non comprise) et voyons quel travail en chevaux devra développer la locomotive pour faire marcher un pareil train — le train seul — aux différentes vitesses en rampe de 5 *mm*. On trouve qu'il faut :

A 80 *km*	322 *chx*
100	524
120	800
150	1 400
170	1 900
200	2 960 !

Et il n'y a pas encore un seul cheval consacré à la machine, qui doit cependant se traîner aussi, et dont les résistances sont fatalement plus grandes que celles du train.

Permettez-moi donc de vous dire quelques mots de la machine.

Supposons une locomotive aussi parfaite que possible, une machine dont les organes n'aient pas de frottements, une machine disposée de manière à fendre l'air. Elle se trouvera dans les mêmes conditions que le train lui-même et nous pourrons lui appliquer les mêmes coefficients de résistance. **Cette machine idéale peut être actionnée par un moteur quelconque, la chose est indifférente, puisque nous faisons abstraction pour un moment des résistances propres à la machine.**

Un seul point alors reste important : le poids de la machine par cheval de force; car il est clair que dans une course de vitesse ce sera la machine la plus légère, à puissance égale, qui remportera le prix. Elle aura moins de poids à trainer, elle pourra avoir, à travail égal, plus de vitesse.

Considérons quatre machines :

Une pesant.	100 *kg*	par cheval
Une deuxième	75	—
Une troisième	50	—
Une quatrième.	35	—

Cette dernière serait extrêmement légère. C'est, si je ne me trompe, le poids auquel le commandant Renard est arrivé pour sa machine de ballon, et je ne tiens pas compte de la nécessité où nous nous trouvons de monter la nôtre sur roues.

Alors la question suivante se pose :

Ces machines seront-elles capables de se trainer toutes seules à la vitesse de 200 *km* à l'heure, et, si elles ne le sont pas, à quelle vitesse pourront-elles marcher ?

Le problème est facile à résoudre.

Puisque nous avons rapporté la résistance à la tonne, rapportons aussi la puissance à la tonne.

Une tonne	de la	première	machine	peut produire. .	10 *chx*
—	—	seconde	—	—	13,33
—	—	troisième	—	—	20
—	—	quatrième	—	—	28,5

Reportons-nous maintenant aux nombres de chevaux nécessaires pour trainer une tonne à différentes vitesses, cherchons dans ce tableau les chiffres 10, 13,33, 20 et 28,5 et nous trouverons en regard les vitesses limites de ces machines idéales. Le travail par tonne en rampe de 5 étant de 29,6 *chx* à 200 *km*, nous constatons qu'aucune de ces machines ne pourra atteindre 200 *km* en rampe de 5.

La première	ne dépassera pas	132 *km*.
La deuxième	—	148
La troisième	—	175
La quatrième	—	195

Nous avons considéré séparément le train et la machine.

Lions maintenant ces différentes machines à un train pesant 100 *t*; les résultats auxquels nous arriverons ne peuvent manquer d'être curieux.

Tâchons de déterminer quel est le poids de chacun de ces moteurs perfectionnés qu'il faudra employer pour trainer 100 *t* aux différentes vitesses, en rampes de 5 *mm*, et quel est le nombre total de chevaux que devra développer la machine.

Rien n'est plus simple, mes chers Collègues; vous n'aurez que deux petites équations du premier degré à résoudre.

Vous écrirez que le poids du train, augmenté de celui de la machine, multiplié par le nombre de chevaux absorbé par une tonne à la vitesse considérée est égal au nombre total des chevaux.

Et d'autre part, que le nombre total des chevaux, multiplié par le poids du cheval en kilogrammes, est égal au poids de la machine en kilogrammes, deux équations du premier degré à deux inconnues.

Voici les résultats auxquels on arrive :

POIDS DU TRAIN, 100 *t*

Machine pesant 100 kg par cheval.

Rampe de 5.

Vitesse.	Poids du moteur.	Poids total.	Nombre total de chevaux.
100 *km*	110 *t*	210 *t*	1 100
110	185	285	1 852
120	400	500	4 000
130	2 400	2 500	24 000
140	∞	∞	∞
150	»	»	»

POIDS DU TRAIN, 100 *t*

Machine pesant 75 kg par cheval.

Vitesse.	Poids du moteur.	Poids total.	Nombre total de chevaux.
100 *km*	65,5 *t*	165,5 *t*	867
110	92,6	192,6	1 252
120	150	250	2 000
130	259	357	3 446
140	670	770	8 932
150	∞	∞	∞
160	»	»	»

x poids total du moteur en tonnes.
n nombre de chevaux nécessaire pour traîner une tonne.
N nombre total de chevaux nécessaire pour traîner la machine et le train.
p poids du cheval-vapeur en kilogrammes.

$$(100^{T} + x)n = N$$
$$Np = 1000\,x.$$

On en tire :

$$x = \frac{100\,n}{\frac{1\,000}{p} - n}$$

x devenant infini pour $n = \frac{1\,000}{p}$ quel que soit le numérateur.

POIDS DU TRAIN, 100 *t*

Machine pesant 50 kg par cheval.

Rampe de 5.

Vitesse.	Poids du moteur.	Poids total.	Nombre total de chevaux.
—	—	—	—
100 *km*	35,5 *t*	135,5 *t*	710
110	48	148	1 042
120	66,6	166,6	1 333
130	92	192	1 843
140	135	235	2 726
150	233	333	4 662
160	444	544	8 920
170	1 900	2 000	38 000
180	∞	∞	∞
190	»	»	»
200	»	»	»

POIDS DU TRAIN, 100 *t*

Machine pesant 35 kg par cheval.

Vitesse.	Poids du moteur.	Poids total.	Nombre total de chevaux.
—	—	—	—
100 *km*	22 *t*	122 *t*	640
110	30	130	845
120	39	139	1 112
130	50	150	1 440
140	70	170	1 927
150	96	196	2 744
160	132	232	3 705
170	200	300	5 700
180	346	446	9 939
200	∞	∞	∞

Vous voyez, mes chers Collègues, qu'avec un poids par cheval de plus en plus réduit on peut aborder des problèmes de plus en plus difficiles, atteindre des vitesses de plus en plus grandes, à la condition que le poids du train reste constant.

Qu'avons-nous fait pour la locomotive? Le poids de son cheval a-t-il augmenté ou diminué?

La machine Crampton primitive pesait 50 tonnes, approvisionnement compris; elle pouvait faire environ 400 *ch*. Elle pesait donc 125 *kg* par cheval; les machines que l'on construit actuellement pèsent environ 80 *t* et peuvent produire jusqu'à 1 100 *ch*; c'est donc 72 *kg* par cheval.

On est arrivé à ce résultat en augmentant la pression de la vapeur dans la chaudière, en agrandissant les grilles, en augmentant la surface de chauffe, soit par l'emploi de bouilleurs dans les foyers ou de tubes perfectionnés dans les chaudières.

Certains ingénieurs créent un volant de chaleur en augmentant la quantité d'eau contenue dans la chaudière, d'autres en portant l'eau de la chaudière à une température plus haute que celle qui correspond à la pression de vapeur qu'ils utilisent, d'autres encore cherchent l'augmentation de la puissance dans une meilleure utilisation de la vapeur.

Tous ces efforts tendent au même but : la diminution du poids du cheval-vapeur ; vous voyez qu'ils sont couronnés de succès.

On peut, dès à présent, réaliser un nouveau progrès et gagner un dixième du poids, ce qui mettra le cheval à 65 *kg*, en réduisant les dimensions du tender et prenant de l'eau en cours de route.

Malheureusement, ces efforts n'ont pas, au point de vue de la vitesse, les résultats qu'ils devraient avoir, parce que les charges remorquées croissent constamment.

Si la charge était limitée en France, comme elle l'est dans les autres pays, on pourrait dès à présent gagner encore beaucoup.

Vous vous souvenez de la lutte, digne des héros d'Homère, que se livrèrent en août 1888 deux Compagnies anglaises conduisant les voyageurs de Londres à Édimbourg par deux routes différentes. Elles arrivèrent toutes deux à faire le trajet de 635 *km* en huit heures et même en sept heures et demie, mais leurs trains ne pesaient que 88 et 100 *t*.

Est-il possible de nous réduire ainsi ? Je crains bien que non. L'ancienne voiture de 1re classe pesait 7,5 *t* et contenait 24 places. Le poids mort par place était donc de 312 *kg*. Aujourd'hui, avec les voitures à cabinets de toilette on atteint jusqu'à 16 *t* par 27 places, soit 600 *kg* par place.

En même temps, le maître-couple de la voiture s'accroissait et présentait à la résistance de l'air une surface plus considérable, en même temps aussi le diamètre des fusées augmentait, de sorte qu'on peut affirmer que la résistance, par place offerte, a doublé.

Il y a là un écueil et on ne saurait dire trop haut que pour gagner en vitesse il faut absolument ne rien faire porter par les voitures qui ne soit indispensable et étudier de très près la question de la réduction de la résistance. Il est clair que si on pouvait en opérer une quelque peu importante la question changerait de face.

Je termine, mes chers Collègues, en vous priant de m'excuser si j'ai abusé de vos instants et en vous demandant la permission de bien préciser encore quelles ont été mes intentions.

En vous faisant cet exposé j'ai eu pour but, d'une part de vous mettre en garde contre des exagérations toujours dangereuses parce qu'elles amènent des désillusions, d'autre part de bien définir le problème qu'il faut aborder pour arriver à augmenter encore les vitesses.

Pour résoudre un problème, la première condition est qu'il soit bien posé : je pense l'avoir défini avec netteté et je serai heureux si j'ai pu ainsi contribuer, pour une petite part, à l'augmentation des vitesses dans la limite du possible. *(Applaudissements répétés.)*

M. le Président informe la Société qu'il a reçu au sujet de la mort de son regretté prédécesseur, M. Jousselin, l'expression des sentiments de condoléance :

De M. le chevalier Th. de Goldschmidt;

De M. Miguel Pérez, au nom de l'Observatoire météorologique et magnétique central de Mexico;

De M. le baron A. de Fierlaut, Président de l'Union des Ingénieurs sortis des écoles spéciales de Louvain, au nom du Conseil d'administration de l'Union.

M. le Président a reçu également avis, par une lettre de M. Belelubsky, correspondant de la Société, de la mort de M. le professeur J. Bauschinger, directeur du laboratoire mécanique de l'École Polytechnique de Munich. M. Belelubsky rappelle quelle a été l'importance des travaux de M. Bauschinger, surtout en ce qui concerne la résistance des matériaux de construction.

Le nom de ce savant est d'ailleurs bien connu en France, il est maintes fois cité dans les mémoires de la Société et MM. Considère, Seyrig et autres savants français, en ont fait mention dans leurs conférences sur les modes d'essai et lois d'élasticité des matériaux.

Il a présidé avec une grande impartialité la conférence de Berlin de 1890, conférence toute scientifique pour l'unification des méthodes d'essai des matériaux, comme peuvent en témoigner les savants français qui y ont participé, M. Candlot et le professeur Debras. Aussi par son caractère, comme par ses travaux, qui représentent trente années de recherches opiniâtres sur les questions de résistance des matériaux, M. Bauschinger a-t-il su se concilier l'estime et la reconnaissance universelle.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de:

M. H.-G.-A. Guillaume, Ingénieur principal de la Compagnie des chemins de fer de l'État, chevalier de la Légion d'honneur, ancien répétiteur à l'Ecole Centrale, ancien secrétaire et ancien membre du Comité de la Société, dont il faisait partie depuis 1853.

M. Turck, inspecteur principal du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest, membre de la Société depuis 1864.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que :

M. H. Daydé a été nommé officier de la Légion d'honneur;

M. Balas a été nommé officier d'Académie;

M. Adrien-Bey a été nommé député de la colonie française à Alexandrie.

Il adresse à ces Collègues les félicitations de la Société.

M. le Président annonce que le 29 janvier s'ouvrira, à Paris, un concours pour la nomination d'un professeur de mécanique dans les Écoles d'Arts et Métiers.

Le programme est déposé au Secrétariat, à la disposition des personnes que le concours peut intéresser.

M. le Président rappelle qu'à la séance du 7 juillet 1893, il a été donné avis de l'ouverture du Congrès des Sociétés savantes en 1894, et qu'à ce moment on a fait appel aux membres qui voudraient bien représenter la Société à ce Congrès. Personne n'ayant répondu à cet appel,

le Comité a désigné comme délégués, MM. Coignet, J. Fleury, Gruner et Rémaury.

M. le Président fait part d'une invitation adressée par M. B. Duclos aux membres de la Société de visiter quatre types de maisons démontables construites par lui, en ce moment montées et installées dans ses ateliers et visibles jusqu'au 9 janvier.

M. le Président donne la liste des ouvrages reçus par la Société : elle figure à la suite du procès-verbal. Il signale en particulier le don fait par Mme veuve Benoit-Duportail, au nom de son mari, de la collection complète du *Bulletin* de la Société. Il croit être l'interprète des sentiments des membres de la Société en adressant à ce sujet à Mme Benoit-Duportail tous les remerciements du Comité et de la Société. *(Applaudissements.)*

La séance est levée à 10 heures et demie.

Séance du 19 janvier 1894.

Présidence de M. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 5 janvier est adopté.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. A. Mallet au sujet du procès-verbal de la séance du 1er décembre 1893 :

« *Paris, 19 janvier 1894.*

» Monsieur le Président,

» Je crois devoir vous demander, bien que tardivement, la rectification d'une inexactitude contenue dans le procès-verbal de la séance du 1er décembre dernier. La charpente de la coupole de la Halle au Blé n'est pas en fer forgé, comme il est dit dans ce procès-verbal, mais bien en fonte.

» L'erreur est très excusable, car les auteurs du temps employaient souvent le mot fer comme voulant dire métal ; ainsi on trouve dans Rondelet que les ponts d'Austerlitz et des Arts, construits à peu près en même temps que la coupole de la Halle au Blé, étaient en fer et que les pièces avaient été coulées dans telle ou telle fonderie.

» Lors de la construction de la Bourse du Commerce, notre collègue, M. Canovetti, a relevé la charpente de la coupole dont les dessins n'existaient plus et a trouvé l'inscription venue de fonte sur le cercle de base, indiquant que les pièces avaient été fondues au Creusot en 1809, d'après les modèles de Belanger.

» Il n'y a d'ailleurs pas de doute sur la paternité de Belanger qui est affirmée par Rondelet dont l'autorité est incontestable ; il était, en effet, inspecteur général des travaux de reconstruction de la charpente de la Halle au Blé. L'âge même de Hittorf, qui ne devait avoir que 16 ans au

» moment de ce travail, comme l'a indiqué, dans sa lettre, M. Ch. Lucas,
» ne permet pas de lui attribuer un rôle dans l'exécution. J'ajouterai
» que notre Société n'a pas d'intérêt d'amour-propre dans la question,
» car cet architecte éminent n'a jamais été au nombre de ses membres,
» comme une similitude de nom l'a fait croire à M. Gaudry.

» Je désire profiter de l'occasion pour présenter une observation relative à une question traitée dans la même séance. M. Jules Fleury, en exposant, avec son talent habituel, les remarquables travaux de M. l'Ingénieur en chef de Mas, a parlé de la *forme en cuiller* proposée pour l'avant des bateaux de rivière.

» Il est intéressant de rappeler que cette forme est à peu de chose près celle des premiers bateaux à vapeur en fer de la Seine construits vers 1822 à 1825. M. Jules Gaudry, dans sa notice sur François Cavé, insérée dans les *Bulletins* de notre Société en 1875, dit que ces bateaux avaient des avants *en olive* glissant dans l'eau d'après les lois, non du coin mais de la sphère, et que cette forme était presque traditionnelle sur les rivières françaises. Je me souviens parfaitement d'avoir vu, sur la Seine, étant enfant, de vieux bateaux à vapeur ayant cette forme à l'avant et même à l'arrière et on s'explique facilement qu'elle ait été adoptée par les conditions mêmes de la construction de ces coques qui n'étaient que des caisses rectangulaires sans façons et à extrémités arrondies. L'absence totale de quille rendait difficile l'attache d'une étrave et d'un étambot, et il était plus simple de terminer la coque par des bouts arrondis. Cette forme est très visible dans la planche annexée à la note précitée de M. Gaudry; c'est bien sensiblement la cuiller.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'expression de mes sentiments dévoués.

» A. Mallet. »

M. Ed. Roy tient à ajouter une observation à la suite de la lettre de M. Mallet. C'est que la forme des bateaux en cuiller est bien plus ancienne qu'on ne le croit. Il se souvient, étant bien jeune à ce moment, d'avoir vu à Nantes des barques dites norwégiennes ayant cette forme et il conclut que cette disposition est vieille comme la navigation.

M. le Président dit qu'il a relevé sur le *Journal officiel* du 16 janvier un certain nombre de décorations de membres de la Société, dont quelques-unes n'ont pas été annoncées encore. Ce sont celles de :

MM. L. Courtier, Grelley, Varenne, Vivarez et Weiller, nommés officiers de l'Instruction publique;

Et celles de MM. Balas, E. Bert, Broca, Bidou, Delonchant, Levi-Alvarès, Merceron et Trotabas, nommés officiers d'Académie.

M. le Président informe la Société que ses membres sont invités, par la Société Internationale des Électriciens, à une séance extraordinaire qui aura lieu le 24 janvier, à l'hôtel de la Société d'Encouragement, 44, rue de Rennes.

Des cartes d'invitation sont déposées au Secrétariat à la disposition des collègues qui en désirent.

M. le Président signale également à la Société une série de confé-

rences fort intéressantes, relatives à l'Exposition de Chicago, qui auront lieu au Conservatoire des Arts et Métiers, du 21 janvier au 18 mars. L'une d'elles sera faite par notre collègue M. E. Hospitalier, sur *l'Industrie électrique aux États-Unis*, une autre par notre collègue M. Gustave Richard, sur *la Mécanique générale à l'Exposition de Chicago* et une autre encore par M. Pillet, membre de notre Comité, sur les *grandes Constructions métalliques aux Etats-Unis.*

Le programme complet de ces conférences se trouve également au secrétariat.

M. le Président donne la liste des ouvrages reçus par la Bibliothèque de la Société, depuis la dernière séance, et signale, en particulier, la *Revue technique de l'Exposition de Chicago en 1893*, de MM. Grille et Falconnet.

La liste complète de ces ouvrages se trouve à la suite du procès-verbal.

M. le Président expose que l'ordre du jour de la séance a dû être modifié par suite d'une indisposition de M. Belelubsky qui, par des raisons de santé, se trouve en ce moment retenu loin de Paris. Il faut espérer que notre collègue sera prochainement rétabli et qu'il pourra sous peu se rendre à Paris et se faire entendre à la Société, soit à une séance supplémentaire qui serait donnée à son intention, soit à l'une des prochaines séances.

M. G. Richard demande à prendre la parole pour présenter en quelques mots un ouvrage très intéressant, sur lequel il désire appeler l'attention de la Société.

Cet ouvrage a pour titre *la Machine Locomotive*; il est dû à M. Édouard Sauvage, Ingénieur en chef adjoint du matériel et de la traction au Chemin de fer de l'Est; il a été fait avec la collaboration de presque tous les Ingénieurs du matériel et de la traction de cette Compagnie : MM. Desgeans, Flaman, Gambaro, Gerhardt, Mauclère et M. L. Salomon, Ingénieur en chef; les dessins ont été exécutés par MM. Heulin et Allard; il est dédié au personnel du matériel et de la traction des Chemins de fer de l'Est et destiné principalement aux mécaniciens.

Aussi M. Sauvage a-t-il eu soin d'en éliminer les formules pour en faire un ouvrage éminemment pratique. Cependant, il n'a pas hésité à approfondir le sujet, même dans les parties les plus délicates, jusqu'à discuter par exemple la question de l'influence de la suspension sur la régularité des distributions, de manière à bien faire connaître et comprendre aux mécaniciens, aussi complètement que possible, et dans les moindres détails, le fonctionnement de leur locomotive, dont dépendent la sécurité et la vie des voyageurs.

M. Sauvage s'est acquitté de cette tâche avec une clarté absolument remarquable, mais ce n'est pas de ce côté seulement que son ouvrage doit être loué, il mérite encore des éloges à un autre point de vue. On y trouve, en effet, à côté de la partie technique, des conseils donnés aux mécaniciens, sur un ton amical et bienveillant, relativement à leur devoir professionnel et civique, à la mission qu'ils remplissent dans l'économie sociale, au rôle qu'ils peuvent être appelés à jouer dans la défense de la patrie ; M. Sauvage considère les mécaniciens comme de véritables

collaborateurs. Il faut se féliciter de voir des hommes dans sa situation contribuer ainsi, d'une manière modeste et efficace, à la conservation de la paix sociale.

M. le Président remercie M. G. Richard de ses paroles. Les sentiments qu'il vient d'exprimer ont été, de tout temps du reste, ceux des Ingénieurs de nos grandes Compagnies. *(Applaudissements.)*

M. A. de Dax a la parole pour présenter une note sur *le Foyer fumivore, système Boileau.*

M. de Dax dit qu'au cours du voyage fait aux États-Unis par nos collègues, ces derniers ont eu l'occasion de constater que la production de fumée est, dans certaines villes, poussée à un degré considérable et des plus gênants.

C'est pour cela que la municipalité de Saint-Louis, entre autres villes, a dû, récemment, prendre un arrêté dont voici le résumé :

« Saint-Louis, 17 février 1893. — Art. 1er. — L'émission à l'air libre, » dans les limites du territoire de la ville de Saint-Louis, de fumées, » noires ou grises, denses et épaisses, est déclarée nuisible.

» Les exploitants, occupants, directeurs ou agents d'usines, établisse» ments, locomotives ou machines émettant de semblables fumées seront » déclarés coupables de contravention.

» Après constatation, ils paieront une amende qui ne sera pas infé» rieure à 50 dollars. **Chaque émission de fumée qui aura lieu sera, » chaque fois, considérée comme une contravention nouvelle et » distincte des précédentes.**

» Art. 2. — Cette ordonnance sera appliquée six mois après son ap» probation par le maire. »

Désireux d'échapper aux pénalités susdites, les industriels de Saint-Louis ont étudié la question, et, parmi les systèmes essayés, l'un d'eux semble devoir réussir. C'est un foyer dû à un Français établi aux États-Unis depuis de longues années. M. de Dax donne, avec modèle à l'appui, une description de ce foyer.

Appliqué dans une trentaine d'établissements, ce système a donné de bons résultats, et les Commissaires *(Smoke Commissioners)* chargés par la municipalité d'étudier la question et de faire appliquer le règlement ont procédé à des essais sérieux et complets. A la suite de ces essais, ils rédigèrent un rapport officiel qui fut remis au *Bureau des Perfectionnements Publics*, le 7 août 1893, et approuvé par ce même Bureau le 3 octobre 1893.

De ce rapport, il semble résulter que le foyer Boileau procure :

1° Une économie de charbon provenant de la meilleure utilisation des gaz combustibles;

2° Une économie d'argent, car on peut brûler, pour obtenir un même résultat, des charbons de qualité moindre. (Économie pouvant atteindre 15 0/0 en prix);

3° Une diminution considérable de la fumée, résultat qui découle naturellement du premier avantage ci-dessus. (Diminution allant jusqu'à 90 0/0.)

M. de Dax donne le tableau suivant, résumant la moyenne des expé-

riences faites par les Commissaires, et dans lequel ces derniers ont pris, comme base de comparaison, la fumée la plus dense et la plus épaisse, en lui donnant le coefficient 100.

DURÉE DE L'EXPÉRIENCE	FUMÉE à 100 0/0 (fumée type)		FUMÉE à 50 0/0		FUMÉE à 20 0/0		FUMÉE à 10 0/0	
10 HEURES	sans appareil	avec appareil	sans appareil	avec appareil	sans appareil	avec appareil	sans appareil	avec appareil
Fumée produite.	15 fois	0 fois	31 fois	3 fois	32 fois	29 fois	30 fois	50 fois
La fumée se produit toutes les	40′	0′	19′ 35	200′	18′ 75	20′ 7	20′	12′
La fumée dure à chaque fois pendant	2′ 87	0′	6′ 84	40″	8′ 97	1′ 59	8′ 5	8′ 16
Total des périodes de temps pendant lesquelles la fumée s'est produite.	43′	0′	212′	2′	287′	37′	256′ (42,7 0/0)	408′ (68 0/0)

	Sans appareil	Avec appareil
Pourcentage moyen de la fumée pendant dix heures	58,02	5,11
Il n'y a pas eu de fumée.	20 fois	30 fois
Chaque période sans fumée s'est produite toutes les	30′	20′
Chaque période sans fumée a duré.	5′ 75	5′
Total des périodes de temps sans fumée	115′ (19,17 0/0)	150′ (25 0/0)

Ces résultats, dûment constatés, semblent probants, et voici un extrait des conclusions du rapport des Commissaires :

« 1° Pour une consommation de charbon inférieure ou égale à » 25 pounds (11,350 *kg*) par heure et par pied carré (929 cm^2) de surface » de grille (environ 122 *kg* par mètre carré), le foyer Boileau permet de » réduire l'émission moyenne de la fumée de 90 0/0 et de maintenir » cette émission au-dessous de 10 0/0 à la condition que les chauffeurs » apportent à la conduite du feu l'attention et le soin voulus : ce qu'ils » ne manqueront certainement pas de faire lorsque l'ordonnance sur l'é- » mission des fumées sera en vigueur. Sans ces soins et cette attention » (qu'il n'est du reste pas déraisonnable d'exiger), l'adoption de l'appa- » reil ne suffirait pas, à elle seule, pour mettre à l'abri des pénalités » édictées par ladite ordonnance.

» 2° L'appareil peut s'appliquer en toute sécurité à tous les types or- » dinaires de générateurs, sans interrompre le travail régulier et sans » exiger de conditions spéciales.

» 3° Le coût de l'entretien et des réparations du foyer Boileau peut » être considéré comme à peu près nul. »

M. de Dax rappelle qu'il existe en France, sur cette question, des règlements qui, s'ils étaient strictement appliqués par l'Administration, remédieraient en grande partie aux inconvénients dus à la production, dans des villes telles que Paris, de fumées épaisses et nombreuses. Les foyers genre gazogène et les appareils divers, tels que les foyers

Ten Brinck, Criner, les fumivores Orvis, Friedman, etc., permettraient, avec une bonne et rationnelle conduite des feux, de diminuer dans de très grandes proportions l'enfumage de l'atmosphère.

Il n'en est pas moins intéressant de signaler ces nouvelles tentatives faites à l'étranger, et d'où il semble résulter que des industriels de la ville de Saint-Louis sont en possession d'un appareil permettant de réduire considérablement la production des fumées de charbon. Nous sommes heureux, dit en terminant M. de Dax, d'avoir à constater que ces résultats seront dus à un compatriote, et nous faisons des vœux pour qu'une modification quelconque survienne à l'état de choses actuel en France et que l'atmosphère de Paris arrive bientôt à recouvrer, à son tour, sa transparence et sa pureté d'autrefois.

M. le Président remercie M. de Dax de la note qu'il vient de présenter et des renseignements qui y sont contenus.

M. Edmond Roy a la parole pour sa communication sur le *passage en courbe du matériel roulant de chemin de fer.*

M. Edmond Roy présente plusieurs modèles de châssis de voitures et une voie partie en ligne droite, partie en courbe de 10 *m* de rayon, exécutés à l'échelle de 1/15 avec beaucoup de précision : à l'extrémité de la courbe se trouve une partie où les rails sont beaucoup plus écartés et entre lesquels se trouve établie une plate-forme métallique en contre-bas du dessus des rails d'une quantité un peu supérieure à la hauteur des boudins des roues.

A l'aide du châssis de voiture à deux essieux, dont les bandages ont une conicité de 1/7, il montre que, dans la partie de la courbe de largeur normale, le boudin de la roue de l'essieu d'arrière, côté du petit rayon, vient toujours, malgré sa grande conicité, se mettre en contact avec le rail, tandis que celui de l'essieu d'avant, côté du grand rayon, reste toujours en contact avec le rail, l'axe du châssis se mettant ainsi de travers de toute la quantité que le surécartement de la voie lui permet de le faire.

Faisant ensuite rouler le châssis dans la partie de la courbe ayant sa plate-forme métallique, il montre que le bandage de l'essieu d'avant reste constamment en contact avec le rail côté du grand rayon, tandis que le bandage de l'essieu d'arrière s'en éloigne progressivement d'une certaine quantité qui reste ensuite constante dans tout le reste du parcours; puis, replaçant le châssis à l'origine du tronçon de courbe, le bandage de l'essieu d'avant en contact avec le rail, côté du grand rayon, et celui de l'essieu d'arrière beaucoup plus éloigné de ce rail que la position qu'il avait prise naturellement dans l'expérience précédente, il montre que ce bandage se rapproche progressivement du rail jusqu'à une distance égale à celle qu'il avait prise dans la première expérience et qui reste également la même jusqu'à la fin du parcours.

D'où il déduit que l'essieu d'arrière tend toujours à prendre une position radiale à la courbe parcourue, et que le boudin de la roue de l'essieu d'arrière s'éloigne du rail côté du grand rayon d'une quantité égale à la flèche d'un arc dont la corde est double de l'écartement des essieux, quand le surécartement de la voie le lui permet.

Puis faisant rouler le châssis de voiture, le plat des bandages des roues, côté du petit rayon reposant sur le rail, et les roues côté du grand rayon, reposant sur la plate-forme métallique et roulant sur les boudins des roues ; en tractionnant normalement, après un faible parcours le plat du bandage de l'essieu d'avant tombe en dedans du rail, le châssis ayant suivi une direction en ligne droite, au lieu de suivre une direction en courbe en raison de l'énorme différence des diamètres de roulement des roues, résultat qui démontre, dit-il, l'inanité absolue de la conicité des bandages pour faciliter le passage en courbe des véhicules de chemin de fer, recommandée par la commission des courbes dans son rapport des expériences faites par cette commission, à Noisy-le-Sec, en 1892.

Il cite les résultats de ces expériences concernant le déplacement des essieux avant et arrière sans convergence, qui n'a présenté aucun avantage pour le passage en courbe, sur les mêmes machines auxquelles on supprima le déplacement de ces essieux.

Prenant deux châssis de voitures, les faisant fonctionner dans la partie normale sur la voie en courbe, il explique que si, en raison de la tendance des roues arrière du premier à se porter vers le rail côté du petit rayon et celle des roues avant du suivant à se porter vers le rail côté du grand rayon, on accouple par un attelage central ces deux châssis d'une manière rigide, transversalement sans nuire aux inflexions relatives que doivent prendre les châssis aux passages en courbe, il y a là deux effets contraires qui, en se neutralisant l'un l'autre, empêcheront les boudins des roues de frotter fortement contre les rails; d'où résistance beaucoup moindre au passage en courbe. C'est sur ce principe que sont établis ses tampons pour attelage de locomotive et de tender.

En outre, par ce mode d'accouplement de plusieurs voitures entre elles, permettant de les rapprocher très près les unes des autres et d'intercepter l'action de l'air sur les faces de tête de toutes ses voitures, on peut arriver à réduire considérablement la résistance de traction des trains de grande vitesse.

M. le Président demande à M. Edmond Roy s'il a fait des expériences lui permettant de dire de combien se trouve diminuée la résistance d'un train par le rapprochement des voitures.

Il estime, quant à lui, que, pour augmenter largement la vitesse des trains, il faudra, tout à la fois, diminuer les résistances et augmenter la force des machines, et cela dans une large mesure.

M. Edmond Roy répond que c'est en se basant sur les expériences très complètes faites sous la direction de feu M. Vuillemin, Ingénieur en chef du matériel et de la traction des Chemins de fer de l'Est, qu'il a établi ses appréciations contenues dans le mémoire qu'il joint à sa communication : il n'affirme ni n'infirme le résultat des expériences de feu M. Vuillemin dont personne ne met en doute le mérite, mais il est incontestable que la réduction notable du nombre de têtes de voitures sur lesquelles l'action de l'air se fait sentir, amènerait une réduction notable de la résistance des trains, d'autant plus importante que la vitesse des trains sera plus grande.

M. E. Polonceau fait remarquer que l'effet du vent retarde la marche

des trains surtout lorsque sa direction est plus ou moins perpendiculaire à celle du train, le boudin frottant alors contre le rail. L'action est beaucoup moindre quand le vent s'exerce dans le sens de la voie.

M. Polonceau ajoute que les nombres que l'on possède relativement à la résistance du vent, de même que pour la résistance des trains, présentent beaucoup d'incertitude : il serait à désirer que l'on fît à ce sujet des expériences très nombreuses ; malheureusement ces expériences sont très difficiles et très délicates, et elles ne peuvent avoir de la valeur que si elles sont faites sur une très grande échelle.

Enfin, M. Polonceau cite un fait qu'il a observé en Autriche. Il y avait des machines semi-Crampton ayant un fort mouvement de lacet; pour y remédier on a relié le tender et la machine par un attelage central : le résultat immédiat a été la rupture du premier essieu du tender. On a de même réuni par un attelage central deux voitures-salons ayant de forts mouvements de lacet ; la conséquence immédiate a été le chauffage constant des essieux placés des deux côtés de l'attelage central. On l'a supprimé ; puis on a fait quelques très légères modifications, telles que l'augmentation de la conicité, alors le mouvement de lacet a cessé, et les boites n'ont plus chauffé.

Il ressort de cela que l'attelage central répartit sur les essieux voisins un travail considérable.

Il demande à M. Roy s'il s'est rendu compte des actions produites par son attelage sur les essieux qui sont à côté de cet attelage.

M. Edmond Roy répond que la plus grande résistance que fasse le vent sur la marche d'un train se fait sentir lorsque celui-ci a une direction de trois quarts opposée à celle du train; que, dans les expériences de M. Vuillemin, il s'agit de la résistance de l'air en temps calme, qui constitue la seule mesure que l'on puisse chercher à bien déterminer; qu'avoir la prétention de faire des expériences, pour toutes les intensités et directions du vent, conduirait à des expériences indéfinies ; que personne n'ignore son action contraire ou favorable selon sa direction par rapport à celle du train ; que la résistance en temps calme donne une moyenne sur laquelle on peut établir une base à peu près certaine.

En ce qui concerne le mode d'attelage qu'a vu M. Polonceau en Autriche, il ne le connait pas et ne saurait discuter les causes des inconvénients auxquels cet attelage a donné lieu; mais, relativement à son système d'attelage de locomotive et de tender, il ne saurait donner de meilleure référence sur son compte qu'en disant que la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, les Chemins de fer de l'État français, n'ont adopté l'emploi de ce système d'attelage à leurs locomotives et tenders qu'après trois et quatre années d'expériences; que M. Urban, en Belgique, continue également à en faire, depuis 1889, de nouvelles applications à des locomotives à grande vitesse.

Les applications de cet attelage, qui ont été faites au Sud de la France, au point de vue de faciliter le passage des locomotives à tender séparé dans les courbes et de supprimer le mouvement de lacet, ont donné pleine satisfaction sans aucun des inconvénients signalés par M. Polonceau. Ainsi que pourrait le constater notre collègue, M. Cerbelaud, ces applications ont eu même un autre résultat, celui de faire sup-

primer le graissage des boudins, qui n'empêchait nullement les déraillements assez fréquents de ces machines dans les nombreuses courbes de 125 *m* de rayon de la ligne de Meyrargues à Draguignan, avant qu'elles ne fussent munies de mon système d'attelage.

Les attelages, comme les boîtes radiales, sont soumis à certaines conditions dans leur application pour donner de bons résultats, dont souvent on n'a pas tenu compte; alors on dit : cela ne vaut rien, tandis que, avec un peu de bon vouloir, on eût obtenu un bon résultat.

Personne ne demandant plus la parole, la discussion est close.

La séance est levée à 11 heures.

Séance supplémentaire du 20 janvier 1894.

PRÉSIDENCE DE M. G. DU BOUSQUET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie

Le procès-verbal de la précédente séance et adopte.

M. LE PRÉSIDENT prend la parole et s'exprime ainsi :

MES CHERS COLLÈGUES.

J'ai la douleur de vous annoncer la mort d'un de nos plus sympathiques collègues, M. Ch. Herscher, Vice-Président de notre Société.

Mercredi dernier M. Herscher était à la Chambre de Commerce, plein de santé; il y avait pris deux fois la parole, lorsque tout à coup on vit sa tête s'incliner; on se précipita pour le soutenir, puis on le transporta chez lui, où le Président de la Chambre de Commerce, M. Delaunay-Belleville, avait voulu aller porter lui-même la triste nouvelle. Tous les soins furent inutiles et notre infortuné collègue expirait le lendemain sans avoir repris connaissance.

Charles Herscher, ingénieur des plus distingués, était un des membres les plus assidus de notre Société. Il y était entré en 1872 et avait eu pour parrains E. Muller, Armengaud aîné et son beau-frère Eugène Geneste, avec qui il dirigeait l'importante maison qui a fait faire à l'hygiène de si grands progrès.

Ch. Herscher fut membre du Comité de 1882 à 1890 et Vice-Président de 1891 à 1894.

Il a donc fait partie de la Société des Ingénieurs Civils de France pendant vingt-deux ans.

Dans ce long espace de temps, il a fait à notre Société des communications nombreuses et toujours applaudies. Je citerai entre autres :

Nouvelle pompe à air de MM. Geneste et Herscher (1875).

Compte rendu du Congrès des Ingénieurs et Architectes de Vienne, par MM. Demimuid et Herscher (1880).

Chaudières sans feu du système Konigmann (1885).

Observations sur la communication de M. Duvillard sur l'assainissement de Paris et le Tout à l'égout (1892).

Discussion sur le Tout à l'égout (1893).

Notre collègue a représenté notre Société aux Congrès de l'Association française pour l'avancement des sciences :

En 1891, à Marseille ;

En 1892, à Pau ;

En 1893, à Besançon.

Il était, vous le savez, Président honoraire de la Chambre syndicale des mécaniciens-chaudronniers et fondeurs de Paris, et membre de la Chambre de Commerce.

La vie de notre regretté Vice-Président a été tout entière consacrée au travail, il a donné à notre Société une grande partie de son temps et je suis certain de rendre votre pensée en déclarant qu'il a bien mérité de la Société des Ingénieurs Civils. *(Approbation.)*

Dans les quelques paroles prononcées sur la tombe de cet Ingénieur distingué, votre Président a cherché à exprimer de son mieux la douleur que cette perte cruelle nous fait ressentir ; il se propose maintenant, avec votre assentiment, de porter à Mme Herscher, à son frère, M. E. Herscher, à M. Geneste et à toute une famille si cruellement éprouvée, l'expression de la profonde sympathie et des douloureux regrets de notre Société. *(Approbation. Très bien ! très bien !)*

M. le Président, avant de continuer la séance, demande à dire encore quelques mots :

Mes chers Collègues,

Nous avons la bonne fortune d'avoir aujourd'hui au milieu de nous un des plus illustres ingénieurs de la grande nation russe, M. le professeur Belelubsky, membre honoraire, correspondant et donateur de la Société des Ingénieurs Civils de France depuis 1889. *(Applaudissements.)*

M. Belelubsky, professeur à l'Institut impérial des Ingénieurs des voies de communication, directeur du laboratoire mécanique de l'Institut, membre du Conseil d'Ingénieurs du Ministère, membre honoraire de la Société technique impériale russe, de la Société technique de Riga, de l'Assemblée des Ingénieurs des voies de communication et de la Société polytechnique de Moscou, est une personnalité bien connue.

Nous ne saurions trop le remercier d'avoir bien voulu prendre quelques jours sur son repos pour venir entretenir la Société des nombreux travaux exécutés en Russie.

M. Belelubsky est pour nous un vieil ami, un ami de la première heure.

C'est lui, il vous en souvient, qui était, en 1889, à la tête des quatre-vingt-dix Ingénieurs russes qui vinrent visiter notre grande Exposition.

Vous vous rappelez encore l'enthousiasme qu'excitaient, à la Société des Ingénieurs Civils, le toast de M. Belelubsky à nos grands Ingénieurs, celui de M. Gitcoff rendant hommage à nos professeurs, celui de M. Baranoff buvant à l'union franco-russe bien avant Cronstadt, bien avant Toulon. *(Bravo ! Bravo ! Vifs applaudissements.)*

Ne pensez-vous pas, Messieurs, que le premier chaînon de cette union qui fait notre joie et notre force, a été forgé par les Ingénieurs des deux nations, du 17 au 20 septembre 1889 ?

Je suis d'autant plus porté à le croire, que cette union étant un gage de paix, a du être conclue par des amis de la paix, et il n'y en pas de meilleurs que les Ingénieurs. *(Très bien ! Applaudissements.)*

Avant de donner la parole à M. Belelubsky, je voudrais le remercier de l'accueil si empressé qu'il a bien voulu faire, il y a deux ans, aux membres du Congrès des chemins de fer.

Ils se souviennent de la visite à son laboratoire, où plusieurs d'entre eux furent photographiés ; ils ont assisté à des expériences très intéressantes de l'essai des ciments et autres matériaux ; ils ont compulsé les albums des grands travaux, notamment des ponts projetés et en partie exécutés sur le Volga par le très distingué professeur, enfin ils ont tous emporté un excellent souvenir de cette visite et de l'affabilité de leur hôte, qui s'est multiplié pour rendre à nos compatriotes le séjour de Russie aussi instructif que possible.

Je n'en finirais pas, Monsieur le professeur, si je voulais dire tout ce que je pense, mais mon auditoire, impatient de vous entendre et d'admirer toutes vos belles œuvres, ne me pardonnerait pas si je continuais plus longtemps ; je suis aussi impatient, plus impatient que lui, et vous prie, en conséquence, de nous faire l'honneur de prendre la parole. *(Applaudissements répétés.)*

M. LE PROFESSEUR N. BELELUBSKY a la parole pour une communication sur *les Ponts Métalliques en Russie* et s'exprime ainsi :

Permettez-moi, Messieurs, de vous exprimer, avant tout, mes sentiments de gratitude pour votre si cordiale réception. Au nom de la Société impériale technique russe et de l'Assemblée des Ingénieurs des voies de communication, j'ai l'honneur de saluer ici, vous, Monsieur le Président, vous, Messieurs les membres de la Société des Ingénieurs Civils de France, et de vous transmettre les vœux que tous nous formons pour la prospérité de votre estimée Société. *(Applaudissements.)*

Avant de commencer ma communication, je dois m'excuser de la hardiesse de ma tentative. Si j'ose parler devant vous, malgré mon peu de connaissance de la langue française, j'ai pour excuse mon désir de bien faire et de chercher à vous donner un aperçu des travaux exécutés dans mon pays relativement à cette question importante des ponts métalliques. J'ose espérer que vous me pardonnerez en faveur de l'intention et que votre indulgence ne me fera pas défaut. *(Non ! Non ! Applaudissements.)*

M. N. BELELUBSKY commence sa conférence par un court aperçu du développement de l'art de l'Ingénieur en Russie, depuis la création de l'Institut des Ingénieurs des voies de communication (1809) jusqu'à l'année 1860; entre autres choses, il rappelle la participation des Professeurs et Ingénieurs français, à la première moitié de cette époque, à l'enseignement des cours de l'Institut et aux Travaux publics de Russie.

Parmi les travaux marquant la fin de cette période, et qui concernent la construction des ponts, M. Belelubsky cite le pont en fonte de Nicolas, sur la Néva, à Saint-Pétersbourg, le pont en chaines de Nicolas, à Kieff, et les ponts en bois du système Howe, sur le chemin de fer Nicolas ; il rappelle en passant d'une façon plus spéciale les travaux scien-

tifiques et pratiques du regretté Jourawsky, Ingénieur russe, qui contribuèrent à créer la théorie des poutres de Howe et en général de celles à treillis symétriques. Les ponts du système Howe à plusieurs travées ont été construits comme ceux à poutres continues ; tous sont à trois poutres pour deux voies. Plus tard, la construction des chemins de fer Pétersbourg-Varsovie et de Moscou-Nijni-Nowgorod a donné l'occasion d'appliquer le système des ponts en fer à treillis multiples plats, et, pour les piles, la fondation pneumatique (grande Société des chemins de fer russes). Enfin, au commencement du développement systématique du réseau des chemins de fer russes, vers l'année 1865-70, apparait l'application des poutres à treillis symétriques rigides pour les grands ponts de Kiew, Kiementschoug, Riga, Rybinski (Volga) et pour le pont à voitures de Varsovie, sur la Vistule.

Le développement ultérieur du réseau des chemins de fer dans la Russie européenne eut comme conséquence la construction d'un grand nombre de ponts métalliques plus ou moins importants, avec l'application de systèmes de superstructure, de fondation et de montage de modes très différents. A ces nombreux travaux collaborèrent un certain nombre de constructeurs plus ou moins connus. L'expérience acquise eut comme résultat de donner d'utiles indications pour l'étude et la construction des autres ponts métalliques projetés.

M. Belelubsky, ne voulant pas trop développer sa conférence, se borne à donner la description des projets et des moyens d'exécution en ce qui concerne seulement les ponts à la construction desquels il a pris part, tant au point de vue de l'élaboration du projet et des recherches locales préalables qu'il a pu faire (ponts du Volga et du Dniéper) qu'à celui de la surveillance technique de l'exécution de ces ponts (pont des chemins de fer Nicolas, pont d'Oka).

En faisant connaître ces différents ponts, M. Belelubsky indique les particularités de la superstructure métallique de chacun d'eux. En général, ces particularités sont spéciales aux ponts russes.

Ces explications sont accompagnées par des projections au tableau.

I. — Remplacement des ponts en bois du chemin de fer Nicolas (1869-1881) par des constructions de longue durée.

La reconstruction des ponts en bois devait avoir lieu avec la restriction de ne presque pas interrompre la circulation, même sur une seule voie, et d'exécuter le montage et la mise en place des ponts métalliques sans employer d'échafaudages spéciaux.

Les travaux ont été exécutés en les divisant en plusieurs catégories, suivant les procédés employés.

La plupart des ponts jusqu'à 30 *m* de portée, avec disposition différente du niveau de passage, ont été remplacés par des ponts à voie supérieure et à quatre poutres en treillis symétriques, dont deux pour chaque voie. Ces dernières ont été montées sur des plates-formes de wagons à marchandises, à part du pont en bois, et mises en place au moyen de grues mobiles et de crics, en interrompant seulement la circulation pendant quarante-huit heures au plus, et même, en certains cas, pendant quatre heures seulement sur chaque ligne de rails.

On a appliqué le même procédé à quelques ponts ayant une portée allant jusqu'à 30 *m*, mais en remplaçant le pont en bois à une travée par un pont à deux travées et en érigeant des piles consistant en une colonne à quatre montants de 7 à 10 *m* de hauteur sur fondations en maçonnerie.

Les grands ponts en bois à voie inférieure à plusieurs travées (poutres continues) de 50 à 60 *m* de portée ont été remplacés par des ponts métalliques à poutres discontinues, en système N, deux poutres remplaçant les trois en bois. La reconstruction a eu lieu sur place en se servant des ponts existant comme échafaudage et en laissant la circulation libre successivement sur une voie.

Ce mode de montage a exigé, pour ces ponts métalliques, une section transversale particulière : ponts de Volchow, Twertza, etc...

Les grands ponts de Msta et de Werebje à neuf travées de 55 à 65 *m* continues) et avec piles en bois de 21 *m* de hauteur dans les fondations en maçonnerie, n'ont pas été reconstruits sur place; mais, en prévision du danger d'incendie et en vue d'éviter différentes difficultés survenues lors du montage, on décida de faire un circuit, permettant en même temps, en raison du développement nouveau de la ligne sur 5 *km*, d'abaisser la pente de Werebje de $\frac{8}{1000}$ à $\frac{6}{1000}$, ce qui donna une amélioration réelle du profil du chemin de fer Nicolas, car ce n'est que sur cette portion de la ligne (16 *km*) qu'il y avait la pente la plus considérable.

Le pont de Msta est remplacé par un pont métallique à 5 travées de 74 *m* de portée, 4 poutres à treillis symétriques. Les deux paires de poutres ont une liaison libre dans les deux plans de contreventements horizontaux, permettant le mouvement de l'une indépendamment de l'autre paire dans le sens vertical ou longitudinal.

Les croix de Saint-André sont placées dans le plan des barres comprimées des poutres (particularité appartenant à ce pont).

Les fondations des piles sont pneumatiques, et M. N. Belelubsky signale les grandes difficultés qu'il a fallu vaincre pour procéder au fonçage des caissons.

La hauteur du pont de Msta est très grande, la distance du niveau des rails jusqu'à l'étiage est de 42 *m*, le sol inférieur du caisson est à 62 *m*. Le montage des poutres a eu lieu à un niveau beaucoup plus bas que celui des rails ; le soulèvement des poutres a été fait à l'aide de presses hydrauliques montées sur la maçonnerie, dont l'exécution était continuée au fur et à mesure du soulèvement des poutres (1).

Le pont de Werebje est remplacé par un remblai de 42 *m* de hauteur avec un aqueduc en granit de 7 *m* d'ouverture. Les travaux spéciaux de dragage, appliqués à ce remblai, ont été d'une exécution difficile.

(1) M. N. Belelubsky, en donnant les indications pour les ponts qui font l'objet de sa conférence, rappelle que les projets du pont de Msta et de l'aqueduc de Werebje sont de lui-même et que l'étude détaillée des travaux du circuit de Werebje appartient à M. A. Belelubsky frère, qui en était le chef des travaux. Le fer du pont de Msta vient de Harkort (Rhin). Les autres ponts du chemin de fer Nicolas sont exécutés par les usines de Handyside, Crumlin-viaduc, Cockerill et l'usine russe de Briansk.

Le pont de Volga (près Tver) du même chemin de fer, a été reconstruit plus tard (1886) sur des échafaudages spéciaux; il a été remplacé par deux ponts indépendants pour chaque voie. Ce qu'il faut remarquer dans la reconstruction de ce pont c'est l'application, pour la première fois, de pièces de ponts (traverses en fer) libres au lieu de poutres rivetées. et de montants horizontaux séparées servant pour les contreventements horizontaux inférieurs.

A la même date a été construit le pont de Belaya qui a la construction analogue à celle du pont du Volga (Tver).

En terminant la description de la reconstruction des ponts du chemin de fer Nicolas, M. N. Belelubsky rappelle les soins apportés à cette question par le regretté M. Koenig, directeur de la ligne Nicolas.

II. — Pont d'Oka, chemin de fer de Rjaschk-Wiazma (1874), 4 travées à 77 *m*, voie inférieure, poutres maîtresses à N, toujours discontinues, fondations pneumatiques.

Au sujet de ce pont, M. N. Belelubsky donne l'explication des particularités qu'on rencontre généralement dans les ponts russes à système N, appliqué comme règle dans le cas de la voie inférieure.

Ces particularités consistent surtout dans le remplacement des dernières diagonales tirant par des contrebarres, la disposition des cornières des montants en dehors des lames verticales des brides, et l'emploi des sections rigides pour les diagonales du milieu de la poutre. (Voir l'album publié sur ce pont.)

III. — Pont du Volga, chemin de fer d'Orenbourg (1875-1880). Le débit du Volga est de 58 000 m^3. Le pont à 13 travées de 107 *m* à poutres discontinues à N, il est à voie inférieure, sa longueur est de 1 386 *m*, les fondations sont pneumatiques et les caissons fondés sur le rocher. Le niveau des rails sur l'étiage est de 40 *m*, et sur la tranche des caissons, monte jusqu'à 52 *m*. M. Belelubsky décrit le montage des poutres, qui, sur la rive droite a été exécuté au moyen de nombreux échafaudages; la mise en place a été faite par un échafaudage flottant établi sur un système de barques; le montage des caissons a eu lieu sur la rive du fleuve et leur fonçage a été effectué au moyen d'installations flottantes.

Ce qu'il faut surtout remarquer, c'est le caisson supplémentaire, nommé caisson-pantoufle, lequel a dû être foncé pour augmenter la longueur d'une pile dont le caisson principal avait déjà été foncé avant que ne se fût manifestée la nécessité d'allonger la partie brise-glaces des piles, en vue du niveau de la débâcle qui eut lieu au moment de l'exécution du pont.

Le prix de ce pont a été de 13 500 francs par mètre courant, ou 351 francs par mètre carré, la surface active étant calculée comme étant le produit de l'ouverture du pont par la hauteur entre le niveau du rail et l'horizon de l'étiage. Le pont du Volga, formant la traversée près de la ville de Syzran, se trouve au commencement du réseau transvolgien. qui sert de passage à la grande ligne sibérienne faisant l'objet des préoccupations actuelles du gouvernement russe.

Le pont du Volga, exécuté avec des fers belges (1), était la dernière construction érigée avec des fers étrangers. C'est à ce moment que l'emploi des fers et des ciments du pays fut généralisé en Russie.

L'achèvement du pont du Volga a coïncidé avec la formation de l'administration des chemins de fer de l'État, à laquelle appartenait déjà depuis 1881 la construction d'un grand réseau de chemin de fer soi-disant de l'État. En même temps, l'existence des chemins de fer exploités fut accompagnée par un rachat successif de chemins de fer privés, suivi au 1er janvier 1894 du rachat des chemins de fer de la grande Société (Pétersbourg-Moscou, Pétersbourg-Varsovie, Moscou-Nijny), laquelle a cessé d'exister.

M. N. Belelubsky, qui fait partie de cette administration depuis son origine, donne la description des ponts appartenant à cette Société et construits depuis une dizaine d'années, 1881-1892, et à la construction desquels il a pris part.

Pont du Dniéper, près d'Ekaterinoslaw, chemin de fer de Catherine; ce pont, érigé sur la première ligne établie par l'administration des chemins de fer de l'État, fait la liaison de deux lignes traversant une région riche en houille (Donetz) et en minerai de fer (Krivoi-Rog).

Le pont du Dniéper (1881-1884) a 1 242 *m* de longueur, 15 travées de 83 *m*; il a deux passages : l'étage supérieur est pour les voitures, l'étage inférieur pour la voie. Poutres à N. La superstructure a été exécutée par l'usine de Briansk. Les fondations sont pneumatiques.

La particularité de ce pont consiste dans l'emploi d'un caisson batardeau pour les trois piles, caisson qui a été foncé plus tard comme un caisson permanent pour la 4e pile. Le montage de la superstructure a été exécuté sur des échafaudages permanents. Le pont d'Ingouletz construit sur la même ligne à Krivoi-Rog, rivalise avec le pont de Msta du chemin de fer Nicolas pour la hauteur : il a quatre travées dont l'une de 95 *m*. Il est à poutres à N avec la bride inférieure semi-parabolique et passage supérieur.

Pont de Belaya chemin de fer de Samara-Zlatooust (Oural).

Ce pont a six travées de 107 *m*, sa longueur totale est la moitié de celle du pont du Volga ; il est à voie inférieure, avec poutres à N, avec la bride supérieure semi-parabolique et des fondations pneumatiques, le sol est du rocher de gyps.

Ce pont, avec celui du Volga, du chemin de fer Nicolas, commence la série des ponts dans lesquels les pièces de pont ou les traverses ne sont pas *rivetées* mais posées librement sur les rotules placées axialement sur les brides inférieures de la section à U des poutres maîtresses; cette construction est accompagnée, dans ce type russe, par les liaisons indépendantes des traverses servant de montants pour les contreventements horizontaux inférieurs. Le poids de la superstructure métallique avec les traverses libres, est un peu plus grand que celui des ponts de construction

(1) Le pont du Volga a été entrepris par l'Ingénieur Michailowsky, chef actuel des travaux du chemin de fer sibérien de l'Ouest; le chef des travaux du pont était M. l'Ingénieur Beresein.

Pour la description du pont du Volga, voir l'*Engineering* de 1881, et le livre de l'Ingénieur Buzzi : *Pont du Volga (Trieste)*.

ordinaire, mais les avantages théoriques sont importants, les poutres maîtresses devenant libres de la déformation transversale (1).

La même construction des pièces de pont est appliquée dans les ponts suivants :

(a) Pont de Niemen près Olita, pour voitures, trois travées de **53** *m*, poutres à système triangulaire, contreventements inférieurs tubulaires (1892), fondation pneumatique.

(b) Pont de Vilia, à Vilna, pour voitures, une travée de 83 *m* (en exécution), poutres semiparaboliques; passage inférieur.

(c) Les grands ponts du chemin de fer Sibérien-Ouest.

M. N. Belelubsky dépose sur le bureau de la Société les dessins détaillés de la superstructure de **10** *mm* appliqué à ces ponts (2).

Ce sont les ponts d'Ischim, Tobol et Irtisch (en exécution). Le même principe va être appliqué au pont de l'Obi, qui est prévu du système Cautilever (en projet).

Le même principe des libres entretoises sera appliqué aussi dans quelques ponts des chemins de fer de Wladiwostock (Oussouri) et Sibérien central (3) (projets de la direction de ces lignes).

Il existe une particularité que l'on rencontre dans les constructions de ces dernières années, c'est la construction des *aqueducs à voûtes paraboliques* que l'on voit sur les lignes Samara-Zlatooust, et du chemin de fer Sibérien. Ce mode de construction, qui a été étudié au cours de résistance des matériaux de l'Institut, donne une économie de 15 0/0.

M. N. Belelubsky donne ensuite des renseignements sur le mode de calcul des ponts, suivant les circulaires ministérielles (4), et sur les matériaux employés dans la construction des ponts, principalement sur le fer fondu (acier extra-doux) dont l'admission aux ponts et autres constructions date de la formation de l'administration des chemins de fer de l'État.

L'étude du fer fondu appartenait à une commission spéciale, nommée sous la direction de l'Ingénieur estimé Kerbedz, constructeur du pont en arcs en fonte de la Newa (1850-1854) et du pont de la Vistule, à Varsovie.

Le fer fondu admis aux ponts des chemins de fer de l'Etat, depuis 1885-1886, et le fer fondu doux prescrit par la circulaire ministérielle de 1888, doivent avoir une résistance de rupture qui peut varier entre 34 et 41 *kg* par millimètre carré et un allongement minimum de 25 0/0.

M. N. Belelubsky fait observer que l'application du fer fondu doux sur une grande échelle (pour les ponts de trois chemins de fer de l'Etat),

(1) Voir à ce sujet : Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, Band 2., Brückenbau, 2e édition, et comptes rendus du Congrès des procédés de construction de 1889.

(2) M. N. Belelubsky cite M. l'Ingénieur Bogouslawsky, adjoint à l'Administration des chemins de fer de l'Etat, comme collaborateur aux projets qu'il a faits dans les dix dernières années.

(3) M. l'Ingénieur Mejenninof, chef des travaux du chemin de fer Sibérien central.

(4) Voir le mémoire du regretté Contamin. Résistance des fers et aciers. (Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France, 1892.)

a eu lieu en Russie (1) avant l'emploi du même métal en Allemagne, où la construction de grands ponts en fer fondu ne date que de quelques années. La présidence de l'administration des Chemins de fer de l'État, à ce moment-là, appartenait à l'Ingénieur estimé Salof, président actuel du Conseil d'Ingénieurs du ministère.

En ce qui concerne les prescriptions pour les autres matériaux, M. N. Belelubsky indique surtout les essais faits au point de vue de la gélivité des pierres (cette partie de sa conférence est accompagnée de projections montrant la destruction de la maçonnerie d'un pont russe). Les méthodes d'essais des matériaux sont en général conformes aux résolutions prises dans les conférences internationales qui ont eu lieu depuis 1884 à Munich, Dresde, Berlin et Vienne, sous la présidence du regretté Bauschinger, et dont M. Belelubsky a été membre en qualité de délégué de son ministère.

M. N. Belelubsky montre ensuite des tableaux représentant le pont métallique de Kewda, 31 *m* de portée, en état d'écroulement (1875), le pont à voie inférieure sans contreventements supérieurs. La destruction de ce pont, qui, grâce à Dieu, ne fit pas de victimes, est analogue à la destruction du pont de Miramont, en France, et vient du défaut de rigidité transversale. Cette catastrophe a donné lieu à des indications utiles pour la construction ultérieure d'autres ponts.

Il montre ensuite, au moyen de projections, la photographie des membres des conférences susdites, comme souvenir du professeur Bauschinger, bien connu en France et dans le monde entier, et la reproduction des photographies des ponts que lui-même a exposées à l'Exposition de Chicago.

M. N. Belelubsky termine sa conférence en rappelant les paroles qu'il a prononcées sur la tour Eiffel lors de la réception de 1889, c'est que les Ingénieurs russes, profitant des indications de l'expérience et des travaux exécutés à l'étranger, pour vaincre les obstacles qu'ils rencontrent sur la surface étendue de leur patrie, n'oublient pas que l'origine de l'art de l'Ingénieur Russe appartient au Génie Civil de France. *(Vifs applaudissements.)*

M. le Président remercie M. Belelubsky en ces termes :

Monsieur le Professeur,

Votre très intéressante et très instructive conférence nous laisse tous sous le charme.

Elle nous montre une chose que nous savions déjà, c'est que les Russes marchent toujours et en tout à pas de géants.

Vous vous êtes plu à rappeler, en 1889, que les Ingénieurs français avaient été vos professeurs ; aujourd'hui tout est changé, nous devrions être et nous serions avec le plus grand plaisir vos élèves.

Nous aurions voulu, très honoré collègue, vous offrir un banquet et porter un toast qui est dans tous nos cœurs, sur toutes nos lèvres, mais

(1) Avec M. N. Belelubsky, il convient de citer MM. les professeurs Nicolaï et Schoulatschenki, comme membres des différentes commissions qui avaient la tâche d'élaborer les prescriptions pour la construction des ponts métalliques et la réception des matériaux de construction (fer, ciment, etc.).

vous repartez déjà demain pour Nice, où vous appellent les soins à donner à une santé qui nous est précieuse; nous n'insisterons donc pas aujourd'hui, mais nous conservons l'espoir que vous pourrez rester quelques jours à Paris lorsque vous vous remettrez en route pour la Russie, et qu'alors nous pourrons mettre notre projet à exécution.

Si, cependant, nous devions renoncer au plaisir de vous revoir, ne manquez pas de porter aux Ingénieurs russes l'expression des sentiments de notre bien vive amitié.

Dites-leur que nous conservons religieusement, à la Société, le souvenir qu'ils ont bien voulu nous envoyer après 1889 et que les couleurs russes et françaises dont vous l'aviez orné, symbole de notre union, sont toujours aussi fraîches qu'au premier jour. *(Très bien ! Applaudissements répétés.)*

M. N. Belelubsky remercie à nouveau M. le Président et les membres de la Société des sentiments qu'ils ont bien voulu lui exprimer.

La séance est levée à 11 heures et demie.

FORMULE

DU

TRAVAIL DE DÉFORMATION DANS LE LAMINAGE

ET LE MARTELAGE

PAR

M. F. CHAUDY

LAMINAGE

L'un des plus importants problèmes auxquels conduit l'étude du laminage ou du martelage est celui de la détermination du travail dépensé pour amener un bloc de métal de température et de forme déterminées à une autre forme déterminée également, le passage de l'une à l'autre forme entraînant avec lui un abaissement connu de température. La solution rationnelle de ce problème de mécanique ferait disparaître les règles empiriques admises encore aujourd'hui, et c'est le but de la présente note de contribuer à la lutte contre celles-ci.

Nous n'entrerons pas dans les détails de la pratique du laminage ; ce sont ces détails, en effet, qui sont bien connus et bien étudiés, alors que reste dans l'ombre le côté scientifique du travail que les ingénieurs ne sauraient négliger. Nous nous bornerons à rapporter ces faits :

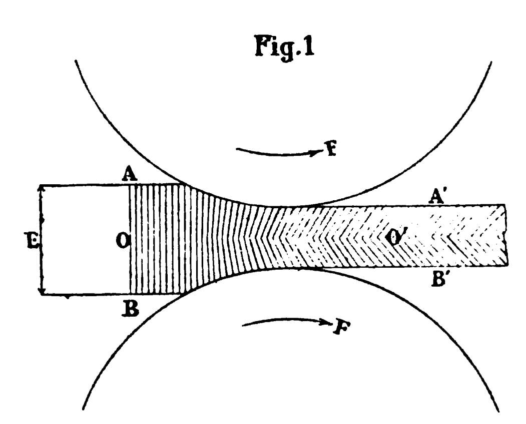
1° Que l'élargissement de la section transversale d'une barre laminée se produit seulement vers les bords de cette barre ;

2° Que, quand ces bords sont soutenus par des cannelures, ou bien, quand il s'agit de tôles ou de bandes de largeur très grande, cet élargissement est négligeable, en sorte que le laminage dans ces conditions est caractérisé seulement par un allongement d'autant plus grand que l'amincissement est lui-même plus considérable.

Hypothèse fondamentale.

Lorsqu'un bloc de métal est passé au laminoir, son épaisseur E se trouve diminuée et devient égale à la distance *e* qui sépare les deux cylindres de l'appareil. Comme le volume du bloc est sensiblement le même après le passage qu'avant celui-ci, il en résulte, en admettant que la largeur ne se soit pas modifiée, un allongement du bloc. Comment se produit cet allongement?

Décomposons par la pensée le prisme de métal à laminer en tranches verticales AB d'épaisseur infiniment petite (*fig. 1*). Lorsqu'une de ces tranches vient, par ses extrémités A et B, en contact avec les cylindres, ces extrémités mêmes sont d'abord entraînées dans le sens des flèches F, c'est-à-dire dans le sens de la rotation des cylindres. Les molécules extrêmes entraînent à leur tour les molécules voisines intérieures, mais cet entraînement se fait avec un certain retard, d'autant plus grand que les molécules sont plus rapprochées du centre de la pièce. D'autre part, la pression, normale à la surface des cylindres, qui s'exerce sur la tranche considérée, tend encore à incliner celle-ci. L'hypothèse que nous faisons est la suivante : nous admettons qu'une tranche AO ou BO, plane avant le passage entre les cylindres, reste plane après le laminage et devient A′O′ ou B′O′ ; cette nouvelle tranche A′O′ a la même épaisseur et la même hauteur que la tranche AO, mais tandis que celle-ci est verticale (*nous verrons plus loin comment on est amené à modifier cette hypothèse de verticalité primitive*), l'autre est inclinée et elle l'est d'autant plus que l'amincissement E — *e* est plus considérable.



Dans le cas où un seul cylindre reçoit le mouvement, la déformation du prisme de métal se fait comme la figure 2 le représente, puisque l'entraînement du cylindre supérieur est produit par le métal laminé lui-même.

Après un premier passage au laminoir, nous admettons donc

que le prisme est composé de tranches inclinées. Dans un deuxième passage, que celui-ci soit effectué avec un train duo ou avec un train trio, c'est-à-dire que le laminage ait lieu ou non dans le même sens longitudinal, l'effet de la compression entre les cylindres sera d'incliner davantage ces tranches déjà formées.

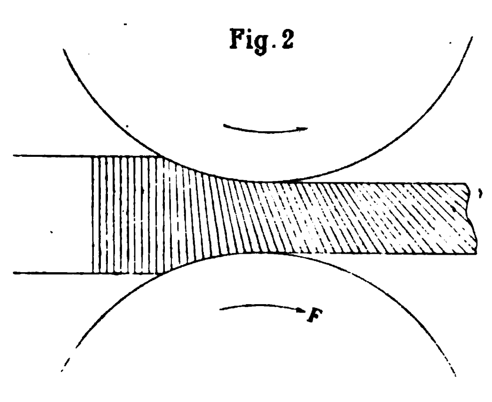


Fig. 2

Or, pour s'incliner, les tranches glissent les unes sur les autres en cisaillant la matière. C'est ce travail de cisaillement qu'il s'agit d'évaluer, puisqu'il représente le travail de déformation que nous cherchons. Afin de simplifier le problème et pour arriver à une solution approchée, nous faisons l'hypothèse des sections planes indéformables. C'est une idée analogue qui a été mise en usage dans la théorie de la résistance des matériaux.

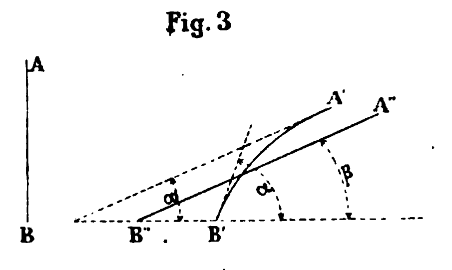


Fig. 3

En réalité, une section transversale, telle que AB, plane avant le laminage, ne reste pas plane pendant la déformation; elle devient par exemple A'B' (*fig. 3*). Les différents éléments de cette courbe A'B' sont inclinés sur l'horizontale sous des angles variables de α jusqu'à α'.

L'hypothèse à faire consiste à remplacer la courbe par une droite inclinée sous un angle β qui représente la moyenne des inclinaisons α.

Formule du travail de déformation.

Considérons la déformation à un moment quelconque.

A cet instant, la tranche AB occupe la position A'B' inclinée sous un angle β (*fig. 4*).

L'effort de cisaillement a produit un déplacement :

$$CD = dx \cotg \beta.$$

A l'instant suivant, le déplacement élémentaire du point d'application de l'effort tranchant est, en valeur absolue :

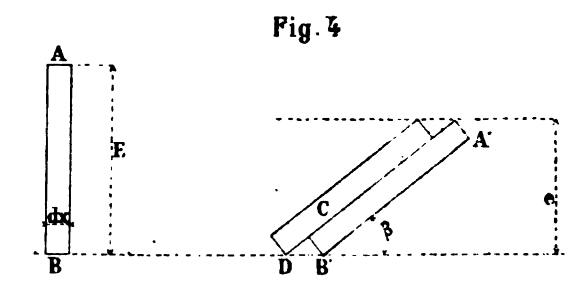
$$\frac{dx\,d\beta}{\sin^2\beta}.$$

Le travail élémentaire de la déformation est donc :

$$tS\,\frac{dx\,d\beta}{\sin^2\beta},$$

en désignant par t l'effort tranchant par unité de surface et par S

Fig. 4



la section transversale du bloc à laminer, soit, si l est la largeur de ce bloc, $S = El$.

Le travail de la déformation pour une tranche depuis β' jusqu'à β'', avec $\beta'' < \beta'$, sera :

$$tSdx\int_{\beta'}^{\beta''}\frac{d\beta}{\sin^2\beta} = tSdx\,(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta').$$

Enfin, pour tout le bloc dont la longueur primitive est L, le travail a pour expression :

$$\begin{aligned}\mathfrak{T} &= tSL\,(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta')\\ &= tV\,(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta'),\end{aligned}$$

en désignant par V le volume du bloc à laminer.

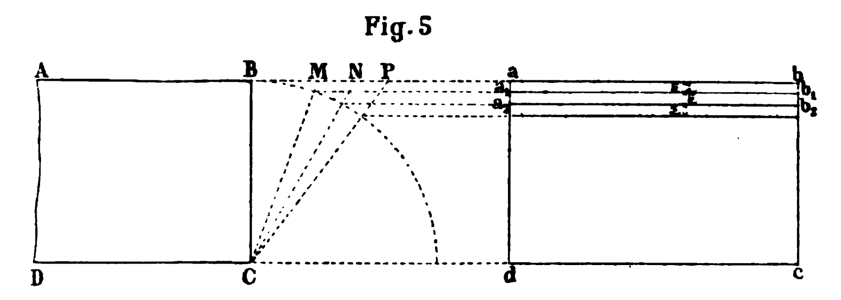
On peut représenter graphiquement et très facilement ce résultat.

Soit ABCD le bloc que nous supposons rectangulaire avec *abcd* pour section transversale. Pour passer de *abcd* à a_1b_1cd avec une diminution d'épaisseur $\mathcal{E}$, le travail à dépenser sera représenté par BM (*fig. 5*), puisque t peut être regardé comme constant pendant tout le laminage, que V est également constant et que BM

exprime bien la différence $\cot \beta'' - \cot \beta'$. Pour passer ensuite de a_1b_1cd à a_2b_2cd, il faudra un travail MN, etc.

Il est clair que ce n'est pas pratiquement la variation du travail qu'on doit réaliser. Au contraire, on doit, autant que possible, faire en sorte que la dépense de force soit la même à chaque passage du bloc entre les cylindres. Il en résulte que, pour chacun

Fig. 5



de ces passages, la diminution d'épaisseur obtenue sera plus faible que celle réalisée dans le passage précédent. La détermination des diminutions successives d'épaisseur se fera de la manière suivante. On se donnera, par exemple, la première diminution à réaliser, soit $\varepsilon_1 = E - e$. On calculera alors :

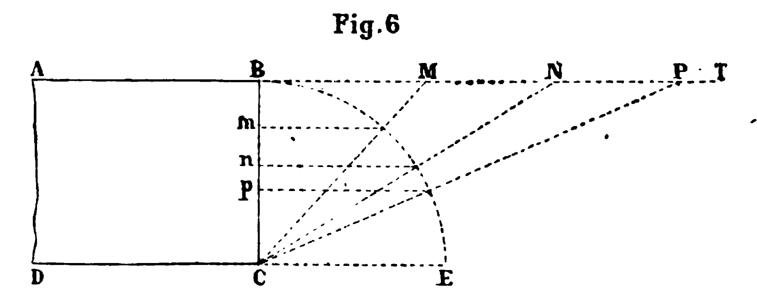
$$\mathfrak{T} = tV \cot \beta,$$

β étant déterminé par la relation :

$$e = E \sin \beta.$$

Sur la droite BT on portera, à une échelle déterminée, $BM = \mathfrak{T}$, puis $MN = BM$, $NP = MN$, etc. On mènera les droites CM, CN,

Fig.6



CP, puis on décrira le quart de circonférence BE. Les épaisseurs successives qu'on obtiendra avec le travail $\mathfrak{T}$ pour chaque passage seront représentées par Cm, Cn, Cp, etc.

Détermination pratique du coefficient *t*.

Dans la formule du travail :

$$\mathfrak{C} = t\mathrm{V} \cot g \beta = t\mathrm{V} \frac{\sqrt{\mathrm{E}^2 - e^2}}{e},$$

V étant exprimé en mètres cubes, *t* représente l'effort tranchant en kilogrammes par mètre carré ; alors $\mathfrak{C}$ représente des kilogrammètres.

Pour déterminer *t* l'expérience est nécessaire. Voici à ce sujet un résultat de la pratique qui va nous être utile :

Pour laminer une bande de 0,125 *m* de largeur et 0,0027 *m* d'épaisseur primitive, 0,0015 *m* après laminage, il a fallu un effort moteur de 6 050 *kgm*, déduction faite de tous les travaux de frottement. La température moyenne de la barre a été de 980°. Les cylindres avaient 0,300 *m* de diamètre et marchaient à 90 tours par minute.

Appliquons ce résultat à la recherche de *t*. La longueur de bande passée sous les cylindres en une seconde est :

$$\frac{3{,}1416 \times 0{,}300 \times 90}{60} = 1{,}413\ m.$$

Nous avons donc :

$$\mathrm{V} = 1{,}413 \times 0{,}125 \times 0{,}0027 = 0{,}000476.$$

Il en résulte :

$$t = \frac{\mathfrak{C}}{\mathrm{V}\frac{\sqrt{\mathrm{E}^2 - e^2}}{e}} = \frac{6\,050 \times 1{,}5}{0{,}000476\sqrt{2{,}7^2 - 1{,}5^2}} = 8\,500\,000\ kg.$$

soit 8,5 *kg* par millimètre carré de section.

Ce coefficient serait plus faible si le laminage se faisait à une température supérieure à 980°. A la température moyenne de l'atmosphère, il atteint comme on sait la valeur de 35 *kg* et on peut admettre qu'il est nul, pour le fer, entre 1 500 et 1 600°.

Pour l'acier, les expériences nous manquent pour rechercher la valeur moyenne qu'il faut attribuer à *t*, eu égard à la température moyenne de laminage. Mais je pense que le lecteur est suffisamment éclairé maintenant pour que, le cas échéant, il puisse

lui-même, ayant fait une expérience, déterminer ce coefficient comme nous venons de l'établir pour le fer.

D'ailleurs, il convient de remarquer qu'au lieu de calculer indirectement la valeur de t comme nous venons de le faire, on pourra faire des expériences directes en cisaillant une barre portée à la température convenable.

Cas du laminage des fers et aciers profilés.

Dans l'examen que nous venons de faire du travail à dépenser pour laminer un bloc de métal, nous avons admis que celui-ci était de la forme parallélipipédique rectangulaire. Si la section transversale du bloc n'est pas un rectangle, il est toujours possible de la décomposer en un certain nombre de rectangles élémentaires. Pour chacun de ces rectangles on aura, pour caractériser un passage quelconque entre les cylindres, des angles β' et β''. L'allongement de chaque élément du bloc devant être le même, on devra avoir, pour chaque rectangle, la même valeur pour le rapport $\frac{E-e}{e} = \frac{\sin\beta' - \sin\beta''}{\sin\beta''}$. Dans ces conditions, si nous représentons par v le volume d'un parallélipipède élémentaire du bloc, le travail total sera représenté par :

$$\mathfrak{T} = \Sigma tv\,(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta').$$
$$= t\Sigma v\,(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta').$$

D'autre part, nous pouvons supposer que la diminution de section se fait, non plus dans un seul sens, mais dans deux sens perpendiculaires. La chose est pratiquement réalisable, puisque les bords du bloc à laminer peuvent être retenus par les parois latérales des cannelures et que rien n'empêche de faire de ces parois de soutien des parois laminantes. Aux angles β' et β'' correspondent alors des angles γ' et γ'' et au travail précédent s'ajoute le terme :

$$t\Sigma v\,(\text{cotg}\,\gamma'' - \text{cotg}\,\gamma').$$

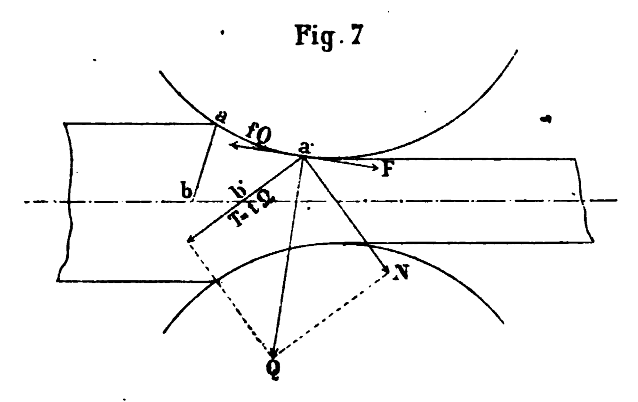
D'ailleurs, le rapport $\frac{\sin\gamma' - \sin\gamma''}{\sin\gamma''}$ doit être le même pour tous les parallélipipèdes élémentaires considérés, puisque tous ces parallélipipèdes doivent s'allonger également.

Détermination des efforts de compression sur les parois des cylindres.

Le cylindre supérieur, par exemple, exerce une pression Q normale à sa surface, et une force d'entraînement tangentielle F. Celle-ci fait équilibre à la force de frottement fQ (pour le fer f varie de 0,30 à 0,40).

La pression Q se décompose suivant les deux forces $T = t\Omega$ et N, la première dirigée suivant la direction connue $a'b'$ des fibres au point considéré, la seconde perpendiculaire à la pre-

Fig. 7



mière. Comme t et Ω sont connus, il est donc tout à fait élémentaire de calculer Q et N.

La détermination des efforts sur les parois latérales des cannelures se fait de la même manière. Connaissant ces efforts, on se donnera la vitesse de la machine motrice, vitesse qu'on prendra grande ou petite, selon qu'on voudra une exécution plus ou moins rapide du travail. On aura ainsi les éléments nécessaires au calcul de cette machine.

Modification de l'hypothèse fondamentale.

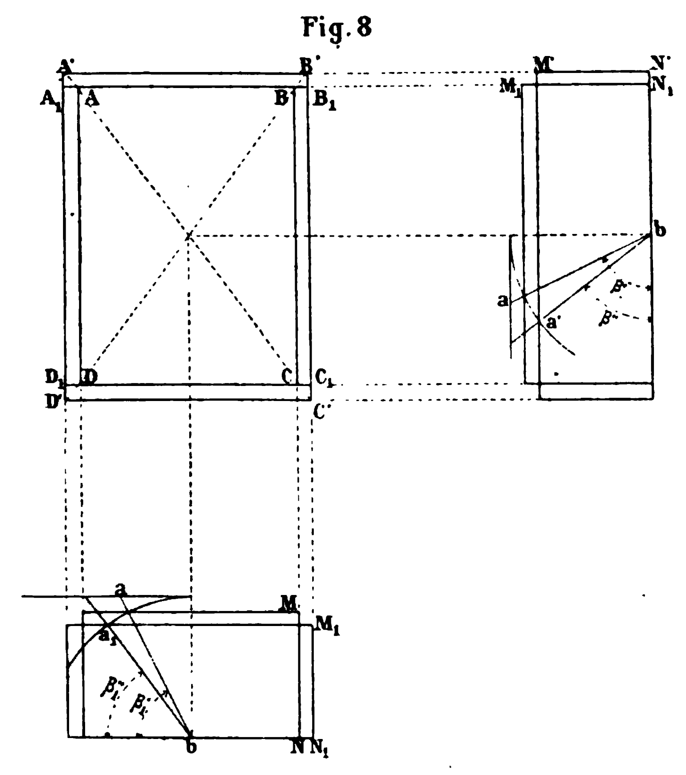
Au lieu de supposer que, lors de leur premier abordage contre les surfaces des cylindres, les fibres sont verticales, il semble plus rationnel d'admettre qu'elles sont inclinées déjà de manière à se présenter normalement à la surface des cylindres. Sur la figure 7 nous montrons en ab l'inclinaison primitive des fibres. Celles-ci tendent à se former ainsi au début du laminage sous l'action de la pression normale exercée sur le bloc de métal par

chaque cylindre, tandis que les forces tangentielles produisent l'entraînement seul. Chaque fibre *ab* en venant en *a'b'* conserve sa longueur, et c'est précisément l'égalité $a'b' = ab$ qui détermine l'inclinaison de *a'b'* en fonction de l'inclinaison de *ab* qui est connue. D'ailleurs, cette modification que nous apportons à notre hypothèse fondamentale ne change pas sensiblement la valeur de *t* trouvée précédemment, et on peut conserver $t = 8{,}5$ *kg* par millimètre carré de section pour le fer.

MARTELAGE

Soit ABCD un prisme de métal d'épaisseur $MN = E$ qui, après avoir reçu un coup de marteau, devient le prisme A'B'C'D' d'épaisseur $M'N' = E'$ (*fig. 8*). Nous pouvons admettre que la déforma-

Fig. 8

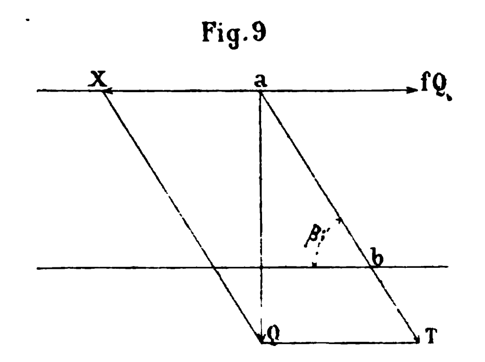


tion s'est produite en deux phases. Dans la première, le prisme ABCD est devenu le prisme A_1B_1CD d'épaisseur $M_1N_1 = E_1$; dans la deuxième, ce dernier est devenu le prisme A'B'C'D' d'épais-

seur M'N'. Pour l'évaluation du travail de déformation total nous avons donc à ajouter les travaux correspondant à chaque déformation partielle. Voyons d'abord ce qui se passe dans la première transformation. Un plan de fibres inclinées *ab* devient un nouveau plan incliné comme *a'b*, tel que $a'b = ab$. Il en résulte, d'après les principes examinés dans le travail du laminage, que le travail de déformation est représenté par :

$$tV(\text{cotg}\beta''_1 - \text{cotg}\,\beta'_1).$$

Quelle est d'ailleurs l'inclinaison originelle β'_1 qu'il faut considérer? Pour que la diminution de l'angle d'inclinaison des fibres puisse se produire, il faut que la composante X de l'effort vertical Q exercé par le marteau soit supérieure à la force de frottement fQ (*fig. 9*).



Or, on a :

$$X = Q\,\text{cotg}\,\beta'.$$

Si nous posons :

$$X = fQ,$$

nous voyons qu'il faut remplir la condition :

$$\text{cotg}\,\beta' = f.$$

Pour le fer, f variant de 0,30 à 0,40, on voit que β' variera de 73° à 68° environ ; sa valeur moyenne est 70°.

Voyons maintenant comment il faudra évaluer le travail de déformation de la deuxième phase. Il faudra regarder le prisme $A_1B_1C_1D_1$ d'épaisseur $M_1N_1 = E_1$ passant à la forme A'B'C'D' d'épaisseur $M'N' = E'$ comme composé de fibres inclinées sous un angle β' (variable pour le fer de 73° à 68°) et passant à l'inclinaison β'' déterminée par la diminution d'épaisseur $E_1 - E'$, la courbe *aa'* étant un arc de cercle de rayon *ab* et de centre *b*. Dans ces conditions, le travail de déformation sera représenté par :

$$tV(\text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta').$$

Par suite, le travail total aura pour expression :

$$\mathfrak{T} = tV[\text{cotg}\,\beta''_1 - \text{cotg}\,\beta'_1 + \text{cotg}\,\beta'' - \text{cotg}\,\beta'].$$

D'ailleurs, entre les différences $E - E_1$ et $E_1 - E'$, il existe une

relation déterminée par la similitude des deux rectangles ABCD et A'B'C'D'.

Nous venons d'examiner ce qui se passe pendant le premier coup de marteau. Pour les coups donnés subséquemment, la détermination du travail se fait de la même manière. Pour le deuxième, par exemple, ce sera :

$$\mathfrak{T} = tV[\cot\beta_1''' - \cot\beta_1'' + \cot\beta''' - \cot\beta'']$$

les angles β_1''' et β''' étant déterminés comme on a déterminé précédemment les angles β_1'' et β''.

Le travail de déformation $\mathfrak{T}$ produit par un coup de marteau permet de calculer l'effort Q à exercer par la machine du marteau pendant un temps que l'on peut choisir à son gré en se donnant la vitesse de cette machine. On doit avoir, en effet :

$$Q \sin\beta + fQ \cos\beta = T = t\Omega.$$

Connaissant Q et la vitesse de la machine, on pourra calculer tous les organes de celle-ci.

Nous insistons sur cette remarque que le travail de déformation $\mathfrak{T}$ est un produit d'une force par le chemin parcouru par son point d'application. Ce travail se fera dans un temps plus ou moins long, au gré de l'Ingénieur qui établira la machine en donnant à celle-ci telle vitesse qu'il jugera convenable, tout en réalisant l'effort Q. Celui-ci est d'ailleurs variable, ainsi que cela résulte de la formule :

$$Q = \frac{t\Omega}{\sin\beta + f\cos\beta}.$$

Il va en croissant avec le nombre des coups de marteau, c'est-à-dire au fur et à mesure de la diminution de l'angle β. La machine devra pouvoir réaliser cet effort; mais comme, d'autre part, à chaque coup de marteau, on produira le même travail de déformation, il en résulte que la diminution d'épaisseur E — E' ira en diminuant. C'est un résultat identique à celui que nous avons trouvé pour le laminage, et il fallait s'y attendre.

OBSÈQUES

DE

M. Charles HERSCHER

PRÉSIDENT HONORAIRE DE LA CHAMBRE SYNDICALE DES MÉCANICIENS,
CHAUDRONNIERS ET FONDEURS DE PARIS
VICE-PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE
MEMBRE DE LA CHAMBRE DE COMMERCE

le 27 janvier 1894

DISCOURS

DE

M. DELAUNAY-BELLEVILLE

PRÉSIDENT DE LA CHAMBRE DE COMMERCE DE PARIS
ET DE LA CHAMBRE SYNDICALE DES MÉCANICIENS, CHAUDRONNIERS ET FONDEURS

Il y a seulement un an que Charles Herscher était appelé par les électeurs consulaires à siéger à la Chambre de Commerce de Paris, et voici qu'il nous est brusquement enlevé dans des circonstances particulièrement tragiques pour sa famille et pour notre Compagnie.

C'est pendant notre dernière séance, au cours d'une délibération à laquelle il avait pris part avec la sagesse et l'esprit pratique dont il était coutumier, qu'au milieu de ses collègues il fut frappé du mal qui devait l'emporter en quelques heures. Quelle émotion parmi nous tous, quelle angoisse, lorsqu'en dépit du dévouement de chacun et des soins éclairés qui lui furent immédiatement prodigués, nous vimes son état empirer d'instant en instant!

Charles Herscher avait été élu membre de la Chambre de Commerce de Paris le 15 décembre 1892, et telles étaient les sympathies et la confiance qu'il inspirait au monde commercial, que, sur les douze élus, son nom fut celui qui sortit de l'urne avec le plus grand nombre de suffrages.

Notre Compagnie ne devait pas tarder à reconnaitre combien était justifié cet hommage des électeurs parisiens, car, malgré la réserve qui lui était habituelle, Charles Herscher avait bientôt pu donner à ses collègues toute la mesure de ses talents et de ses fortes qualités.

Soit dans les travaux de nos Commissions, auxquels il prenait une part assidue, soit dans les délibérations de nos séances plénières, son intervention était toujours marquée par ce parfait bon sens, ce sang-froid

clairvoyant, cette sagesse et cette prudence qui étaient la caractéristique de ce solide esprit.

Et lorsque, l'an dernier, la Chambre de Commerce entreprit l'inspection d'ensemble des divers établissements qui constituent son domaine, lorsqu'elle décida la revision des conditions de sécurité et d'hygiène que ces établissements devaient remplir, Charles Herscher fut tout naturellement appelé à faire partie du Comité chargé de cette importante et laborieuse mission. La haute expérience qu'il avait acquise dans sa carrière industrielle, toute consacrée à cette science de l'hygiène publique, dont il avait été l'un des promoteurs, nous fut alors du plus précieux secours. Il avait parcouru tous les sentiers de ce champ nouveau, ouvert à l'activité humaine; il avait collaboré avec les maitres les plus illustres, avec les praticiens les plus distingués et possédait ainsi tous les secrets de la science et toutes les ressources de la pratique. Aussi sa part dans l'œuvre accomplie alors par la Chambre de Commerce de Paris a-t-elle été considérable, et nos Écoles, notamment, lui doivent-elles plus d'un bienfaisant progrès !

Bien avant que Charles Herscher fît partie de notre Compagnie, je l'avais personnellement vu à l'œuvre à la Chambre syndicale des Mécaniciens, dont il avait été le Président et dont il est resté le Président honoraire et surtout le conseil le plus assidu et le plus écouté. C'est dans cette Chambre syndicale que, par une longue collaboration avec lui, j'avais appris à connaitre le dévouement sans bornes dont il était animé pour toutes les œuvres utiles, cette conscience exigeante qui ne le laissait jamais en repos qu'il n'eût accompli plus que son devoir, et, enfin, ce profond sentiment de l'honneur privé et de l'honneur professionnel qui donnaient une si ferme base à l'estime et à la confiance de ceux qui l'approchaient.

Aussi, mon cher collègue, mon cher ami, si brusquement que ta vie ait été brisée, elle a été assez bien remplie pour nous laisser à tous les plus réconfortants souvenirs et les plus précieux exemples !

Puisse le témoignage que j'apporte ici au nom de tous nos collègues, puisse ce témoignage de notre unanime affection et de notre profonde estime, adoucir pour les tiens l'amertume d'une séparation si inattendue, si prématurée et si cruelle !

DISCOURS

DE

M. G. du BOUSQUET

INGÉNIEUR EN CHEF DU MATÉRIEL ET DE LA TRACTION DU CHEMIN DE FER DU NORD
PRÉSIDENT DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

MESSIEURS,

Pour la seconde fois, en l'espace de quelques semaines, la Société des Ingénieurs Civils de France est dans le deuil. Après avoir perdu, à la fin de 1893, son Président, elle se voit ravir aujourd'hui le Vice-Président qu'elle eût placé à sa tête, si la lourde tâche qui lui incombait en 1894, les intérêts si importants qu'il avait à défendre, le désir de consacrer à sa famille les quelques heures qu'il pouvait dérober aux affaires ne lui avaient fait énergiquement repousser l'honneur que nous voulions lui faire, honneur dont il était si digne à tous égards!

Cependant, nous n'avions pas perdu courage, et nous avions conçu l'espoir de triompher en 1895 des résistances de notre ami.

Hélas! la mort aveugle frappe aussi bien les hommes qui sont utiles à leurs concitoyens que ceux qui les oublient pour ne songer qu'à eux-mêmes, et tous nos projets se sont écroulés en un instant!

Quand la vie si agitée que nous menons nous laisse quelques instants de réflexion, nous nous prenons parfois à penser que nous disparaitrons quelque jour, laissant derrière nous tout ce que nous aimons; ou bien encore nous songeons, en tremblant, que nous aurons la douleur de voir s'éteindre dans nos bras l'être que nous aimons le plus; mais nous chassons bien vite loin de nous cette cruelle pensée, nous regardons à la dérobée celui dont l'existence nous est plus chère que notre propre vie, et, le voyant plein de santé, nous rions de nos frayeurs.

Si, cependant, la maladie survient, nous passons jours et nuits à son chevet; nous l'entourons de tous nos soins, et, quand nous les sentons inutiles, peu à peu, de transition en transition, nous nous faisons à l'idée de le perdre. Mais quand la mort est foudroyante, quand elle touche du doigt le chef de famille en pleine santé, en plein labeur, alors notre pauvre cœur reçoit, sans préparation, un choc terrible auquel nous ne comprenons pas qu'il puisse résister.

C'est en présence d'une pareille catastrophe que se sont trouvés cette malheureuse femme, ces enfants si aimants et si aimés, ce frère et ce beau-frère, tous deux associés non seulement aux travaux, mais encore aux joies intimes de celui que nous pleurons, et aussi ces amis qu'une affabilité extrême avait faits si nombreux.

La Société des Ingénieurs Civils de France ressent une douleur profonde, une douleur dont je ne suis que le bien faible interprète.

Charles Herscher était des nôtres depuis 1872; il avait enrichi les Bul-

letins de notre Société de nombreux travaux, tous marqués au coin de la science la plus avancée et du sens pratique le plus parfait.

Aussi, dès 1882, est-il du Comité, et la Société se fait un devoir et un honneur de l'y réélire chaque année de 1882 à 1890.

En 1891, il devient Vice-Président, poste qu'il doit occuper jusqu'à ses derniers moments.

Vous connaissez tous, Messieurs, l'importante maison qu'il dirigeait depuis de nombreuses années avec son frère et son beau-frère, M. Geneste, ses amis si unis par le cœur. Je voudrais vous dire les services inappréciables rendus à l'hygiène publique. Je ne le puis; je dois respecter le désir qui m'a été exprimé; — au surplus, nous les connaissons tous et nous savons qu'ils avaient été récompensés par la rosette d'officier de la Légion d'honneur.

Nous n'étions pas les seuls à savoir apprécier les mérites de notre malheureux ami. La Chambre syndicale des Mécaniciens, Chaudronniers et Fondeurs l'avait nommé son Président honoraire, et la Chambre de Commerce de Paris lui avait ouvert ses portes toutes grandes.

Pour suffire à tant de travaux, il fallait un homme vigoureusement trempé : Charles Herscher était infatigable, il travaillait d'une façon en quelque sorte continue, sans jamais se plaindre, quand tant d'hommes aujourd'hui sont si avares de travail, si avides de plaisirs et de repos.

Messieurs, l'homme que nous venons de perdre avait toutes les vertus : c'était le père de famille par excellence, l'ami le plus sûr, l'Ingénieur le plus distingué, le meilleur des citoyens. Sa courageuse femme, ses enfants bien aimés, ses frères si dévoués, ses parents, ses nombreux amis, ses collègues de la Société des Ingénieurs Civils de France et leur Président qui vous parle le pleurent amèrement. Mais, ne nous abandonnons pas! Dès à présent, entretenons-nous chaque jour de celui qui n'est plus; peu à peu, notre douleur s'émoussera; nous ne craindrons plus de la raviver par nos paroles, et alors nous trouverons une véritable consolation à nous rappeler les talents, le courage, la bonté, la modestie de celui qui nous quitte et tous les services qu'il a rendus.

Charles Herscher est, en effet, de ceux que l'on n'oublie jamais, de ceux qu'il faut prendre comme modèles, de ceux que nous serons heureux de retrouver quand l'heure de l'éternel repos aura sonné pour nous.

Adieu donc, cher collègue et ami, la Société des Ingénieurs Civils de France et son Président restent avec toi de tout cœur, de toute âme!

DISCOURS

DE

M. V. COPEAU

PRÉSIDENT DE L'ASSOCIATION DES ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE TURGOT
ADJOINT AU MAIRE DU Xe ARRONDISSEMENT

MESSIEURS,

Turgot est en deuil : la mort vient de frapper un de ses enfants les plus chers, une de ses gloires les plus pures ! !

Cette foule émue et recueillie nous affirme toutes les sympathies qui entouraient le regretté camarade que nous venons d'accompagner au seuil de cette tombe.

Des voix plus autorisées que la mienne vous ont dit quelles étaient les vertus de celui que nous pleurons; sa vie si bien remplie, les travaux qui lui ont valu les nombreuses distinctions que nous étions si fiers d'enregistrer au fur et à mesure qu'elles lui étaient si justement conférées.

La mort, sans relâche, hélas ! fait son œuvre : hier, c'était Hofmann; aujourd'hui, c'est Herscher, tous deux de ces premières promotions qui aidèrent Marguerin dans son œuvre et préparèrent la prospérité présente de notre Association.

Patronage des jeunes par les anciens ! Herscher fut un des propagateurs les plus actifs de notre devise; et, non seulement il aida au placement de ses jeunes camarades, mais en accueillit un grand nombre dans sa propre maison, qui lui doivent aujourd'hui une situation honorable et honorée.

Il fit partie du Comité de l'Association de 1865 à 1874. Entré tout jeune à l'École, Herscher en devint bientôt l'un des élèves les plus distingués; déjà le caractère doux et aimable de l'enfant faisait pressentir les qualités bienveillantes de l'homme mûr; sa modestie était égale à sa valeur, et un jour que je lui demandais de vouloir bien honorer un de nos banquets en le présidant, il se déroba doucement, cherchant à me faire comprendre que d'autres, plus que lui, en étaient dignes.

Cette modestie même donnait plus d'éclat à ses brillantes qualités, et tous ceux qui l'entouraient subissaient l'influence de cette nature calme et réfléchie.

Par excellence, il était de ceux qui s'abritent derrière le devoir pour faire à tous et partout la grande somme de bien dont leur cœur généreux les rend capables.

Jamais une parole indifférente ou une vaine promesse ne s'est échappée de ses lèvres à l'adresse du jeune camarade qui sollicitait de sa haute expérience un conseil ou un appui.

Je rappelais tout à l'heure le souvenir d'un autre ami qui n'est plus et qui, lui aussi, s'est tant intéressé à notre œuvre.

Ce sont là de nobles exemples pour nos camarades des jeunes promotions, exemples dont notre Association a le droit de se montrer jalouse et fière; aussi garderons-nous fidèlement la mémoire de ce cher disparu, qui, malgré ses occupations incessantes et ses absorbants travaux, ne s'est jamais départi de sa douce affabilité et n'a jamais cessé de porter un intérêt profond à notre Association.

Au nom de tous: anciens, qui l'ont tant connu et aimé, — jeunes, qui n'ont pas et n'auront jamais de meilleurs amis que ces anciens-là, je dis à Herscher un éternel et douloureux adieu!

CHRONIQUE

N° 169.

SOMMAIRE. — Appareils moteurs des navires de guerre américains. — Accident du pont de Jeffersonville. — La flottille du Congo. — Chemin de fer transandin d'Antofagasta à la Bolivie. — Nouvelles locomotives à marchandises en Allemagne et en Angleterre.

Appareils moteurs des navires de guerre américains. – M. George W. Melville, Ingénieur en chef de la marine des États-Unis, a lu à la réunion de New-York de la *Society of Naval Architects and Marine Engineers*, un mémoire sur les appareils moteurs des nouveaux navires de guerre américains, mémoire, qui est rempli de détails intéressants et dont la valeur est d'autant plus grande que l'auteur a, par sa position officielle, été mêlé depuis l'origine à la construction de ces bâtiments qui ont eu, comme on le sait, un succès très marqué. Nous croyons devoir donner un résumé de cet important travail.

La construction de la nouvelle marine des États-Unis a commencé en 1883 par celle de ce qu'on a appelé les *Roach cruisers* (1), savoir : le *Chicago*, le *Boston*, l'*Atlanta* et le *Dolphin ;* il ne sera pas ici question de ces navires, parce que leurs machines ne présentaient aucune particularité digne d'attention et soulevaient même des critiques sérieuses ; on passera immédiatement à l'examen des navires construits sous l'administration du secrétaire de la marine Whitney.

Les premiers navires étaient des canonnières et des croiseurs protégés dans lesquels, pour mettre les appareils moteurs sous le pont cuirassé, on avait employé des machines horizontales. Plus tard, lorsqu'on pensa à protéger les cylindres par une cuirasse verticale, on employa des machines de ce système, et l'usage en fut continué. Dans les nouveaux navires dont il est question, beaucoup de machines sont verticales, mais comme elles sont toutes au-dessous du pont cuirassé, on n'a pas employé d'armure verticale, comme en Angleterre. Le choix à faire est une question d'espèce, car les machines horizontales n'ont pas donné de moins bons résultats que les autres. Dans les longues croisières faites par le *Philadelphia*, le *Yorktown*, le *Baltimore* et le *San-Francisco*, les appareils moteurs, qui sont du type horizontal, n'ont rien laissé à désirer et étaient en parfait état à la rentrée au port.

Les machines marines ont été si complètement étudiées de nos jours qu'il ne reste, pour ainsi dire, plus à perfectionner que des détails de construction. Les points les plus importants sont toujours les questions de poids et d'encombrement ; il en est toutefois une autre qui est spéciale aux navires de guerre et dont on s'occupera d'abord, c'est la marche économique à vitesse réduite.

Autrefois, quand les vitesses ne dépassaient pas un taux assez faible, mettons 12 nœuds, il n'était pas bien difficile de marcher à 8 avec des conditions économiques égales ou même un peu supérieures ; mais dans

(1) Cette désignation provient de ce que ces navires avaient été construits dans les chantiers de Roach, à Chester (Pensylvanie).

les navires de guerre actuels construits pour atteindre 18 à 20 nœuds et plus, c'est tout autre chose pour réduire cette vitesse à 10 nœuds. La résistance à elle seule de gros mécanismes destinés à transmettre des puissances de 16 000 *chx*, absorbe une fraction considérable du travail, lorsque celui-ci ne correspond plus qu'à 1 500. De plus, la condensation sur les parois internes des cylindres, lorsqu'on marche à vitesse réduite et à faible introduction, entraîne des conditions économiques de fonctionnement des plus défavorables.

On a proposé, pour résoudre le problème, bien des moyens, dont le plus ancien est probablement la division de l'appareil moteur en deux parties, dont l'une peut être mise hors de fonctionnement lorsqu'on marche à puissance réduite. Cette disposition fut employée pour la première fois, à la connaissance de l'auteur, sur les navires italiens *Italia* et *Lepanto*, mais elle a été souvent appliquée depuis, entre autres sur les navires américains *New-York* et *Brooklyn*. Un autre procédé qui vient à l'esprit naturellement lorsque la machine est à triple expansion, est de séparer le dernier cylindre, lorsqu'on veut marcher à vitesse réduite, et de fonctionner avec les deux premiers agissant comme machine compound. Comme ceux-ci donnent alors, à peu de chose près, leur puissance normale, les conditions économiques, sans être aussi bonnes que celles de la machine à triple expansion faisant toute sa force, sont très supérieures à celles de la même machine travaillant à puissance réduite. Ce système est employé sur le croiseur américain *Maine* et sur des navires français et russes.

Une autre méthode consiste à diviser la puissance en trois groupes moteurs agissant chacun sur une hélice, de manière à fonctionner à puissance réduite avec l'hélice centrale seule, les deux autres étant débrayées de leur machine. On a, dans ce cas, à vaincre la résistance de ces hélices, et on peut se demander si cette résistance compense ou non le gain amené par la suppression de la résistance des mécanismes des deux machines dans les navires à deux hélices. Les expériences faites par M. Isherwood en 1874 à l'arsenal de Mare-Island, sur la résistance d'hélices affolées, semblent indiquer que cette résistance est en réalité très faible; il y aurait donc un bénéfice sérieux dans l'emploi des trois hélices à ce point de vue. La marine américaine a appliqué ce système à plusieurs navires dont le premier, le *Columbia*, vient de faire ses essais officiels qui ont eu un très grand succès en ce qui concerne la marche à toute puissance. On n'a pas encore pu déterminer l'économie réalisée par la marche avec une seule hélice, mais par la comparaison des parcours de ce navire avec ceux du *New-York* pendant un délai suffisamment prolongé, on pourra obtenir des renseignements très précis sur la valeur relative des deux systèmes au point de vue économique.

Il y a encore une disposition très ingénieuse pour obtenir un fonctionnement avantageux avec des puissances très différentes, laquelle a été appliquée à la machine de la canonnière n° 7, bâtiment à faible tirant d'eau de la marine américaine. La première idée de ce système paraît due au professeur Hollis, de l'Université d'Harvard, et l'étude en a été faite, avec les modifications suggérées par les conditions d'application, sous la direction de l'auteur.

On a cherché à réaliser un appareil moteur, non seulement aussi économique que possible, mais encore très léger. A cet effet, les deux tiers de la puissance totale des générateurs sont en chaudières à petits éléments qui pèsent à peu près la moitié du poids des chaudières marines ordinaires. La machine est disposée de manière à fonctionner comme machine à triple expansion à toute puissance avec de la vapeur venant des chaudières à petits éléments ; le reste de l'appareil évaporatoire qui consiste en deux chaudières cylindriques envoie sa vapeur au premier réservoir intermédiaire (1) où un détendeur est disposé pour que la pression de cette vapeur soit précisément égale à celle de la vapeur évacuée par le cylindre à haute pression. C'est une extension de la disposition appliquée quelquefois où les machines auxiliaires déchargent dans le réservoir intermédiaire. Ceci a lieu pour la marche à toute puissance. Dans le fonctionnement à puissance réduite, on marche à triple expansion, en dételant les cylindres à basse pression, avec de la vapeur à 11 *kg* provenant de chaudières cylindriques, tandis qu'à toute puissance la vapeur est produite à 18 *kg* par les chaudières multitubulaires. On peut, d'ailleurs, en cas de nécessité, employer, pour l'un ou l'autre des modes de fonctionnement, l'un ou l'autre des groupes de générateurs.

La question de la marche économique à puissance réduite est en réalité bien plus compliquée qu'elle ne semble l'être à première vue. L'emploi de plus en plus fréquent des machines auxiliaires sur les navires de combat, entraîne une consommation de vapeur qui n'est pas négligeable, même à côté de celle des grandes machines. Le professeur Hollis, lorsqu'il était ingénieur adjoint de la marine américaine, paraît avoir été un des premiers à attirer l'attention sur ce point dans des conférences faites, il y a un an ou deux, au Naval War College. Dans une série de tableaux dont les chiffres étaient basés sur des relevés faits par lui-même, donnant la répartition de la vapeur produite par les chaudières entre les machines principales et les machines auxiliaires, on peut voir d'un coup d'œil l'importance que prend à faible puissance la dépense de vapeur pour les dernières. Cet élément joue dès lors un grand rôle dans la question de la vitesse la plus économique et du rayon d'action. Il modifie entièrement les résultats théoriques relatifs au rayon d'action pour lesquels on prend la puissance en chevaux correspondant à diverses vitesses, la consommation par cheval et la capacité des soutes à combustible. On peut citer un navire de guerre américain pour lequel la théorie donne à 10° nœuds un rayon d'action de 25 000 milles. Si on refait le calcul en tenant compte de la dépense des machines auxiliaires, on trouve que ce rayon serait réduit en pratique à 11 000 milles, soit moins de la moitié.

Cette question amène immédiatement l'examen d'un point qui a été

(1) Cet arrangement a une grande analogie avec une disposition réalisée par B. Normand en 1864 sur le *Duguay-Trouin*. Il s'agissait d'une machine compound à deux cylindres, la vapeur était fournie par une chaudière tubulaire à haute pression et la vapeur sortant du premier cylindre se rendait dans une chaudière à basse pression formant réservoir intermédiaire et se réunissait à la vapeur produite par cette chaudière pour aller travailler sur le grand piston. Cette disposition présentait quelques avantages, mais sa complication inévitable l'a empêchée de se répandre.

récemment en discussion, savoir l'utilité de la séparation de tous les travaux auxiliaires des machines principales. Comme tout le monde le sait, il y a vingt ans toutes les pompes étaient mues par les grandes machines. Plus tard, à mesure que les nombres de tours augmentaient, on détachait les pompes les unes après les autres jusqu'à ce que les cylindres des machines principales n'eussent plus qu'à faire tourner les arbres des hélices. Au point de vue de la sécurité du fonctionnement, on ne pouvait rien désirer de mieux, mais à celui de l'économie, c'est peut-être autre chose et on peut se demander si on a sagement agi en confiant la commande de ces organes à des machines indépendantes peu économiques de vapeur comparativement aux grands appareils moteurs. L'auteur a pu constater que certaines pompes alimentaires à action directe dépensent plus de 50 *kg* de vapeur par cheval et par heure, alors que les machines des bâtiments de guerre, bien que moins économiques que les meilleures machines de la marine marchande, ne dépensent pas plus de 9 *kg*.

Au Congrès international du Génie Civil tenu à Chicago en 1893, M. Dickie, de l'*Union Iron Works*, a vivement insisté pour qu'on continuât à faire les pompes à air partie intégrante des machines marines. Ce travail est fort intéressant et sera lu avec fruit par ceux que la question intéresse. L'auteur affirme qu'avec des précautions convenables on peut faire marcher les pompes à air à toutes les vitesses qu'il est nécessaire de donner aux machines. On aura un aussi bon rendement qu'avec des pompes indépendantes et la consommation correspondante sera bien moins élevée. Il est intéressant de citer à ce propos une disposition de pompe à air, pour machines de torpilleurs ou moteurs devant fonctionner à un grand nombre de tours, proposée par M. Frank H. Bailey, ingénieur assistant de la marine américaine. Ce système a déjà été expérimenté et, dans des circonstances peu favorables, a permis d'obtenir un vide de 0,525 *m* de mercure à 1 000 tours à la minute. Ces pompes vont être adaptées à des machines de torpilleurs qui, si elles ne fonctionnent pas à l'énorme vitesse qui vient d'être indiquée, ne s'en rapprocheront pas moins, puisqu'elles doivenf faire 700 tours par minute.

Après avoir traité jusqu'ici la question des machines marines au point de vue économique, l'auteur passe à celle non moins importante à l'heure actuelle du poids et de l'encombrement. Des machines qui ne donnent pas au moins 10 *chx* par tonne de poids ne sont plus de notre époque et on sait que, dans les torpilleurs, on arrive à beaucoup plus, soit à 40 *chx*. Il est certainement très désirable d'alléger les machines parce qu'on peut utiliser le poids gagné en artillerie, cuirasse ou combustible pour les navires de guerre et en fret pour les navires de commerce. Il est vrai que, dans certains cas, on a été trop loin dans cette voie et qu'on a éprouvé des mécomptes. L'auteur est heureux de constater que cela n'est jamais arrivé dans le service qu'il dirige.

Les chaudières sont la partie la plus lourde des appareils moteurs et on a fait naturellement les plus grands efforts pour en réduire le poids. Le moyen le plus employé depuis dix ou quinze ans a été l'usage du tirage forcé. On croit que nous avons suivi dans cette voie l'exemple des Anglais, alors qu'en réalité le fameux colonel Stevens l'avait inauguré

en Amérique dans la première partie du siècle et que ce système était employé couramment, il y a déjà bien longtemps, sur les bateaux à vapeur de l'Hudson. Pendant la guerre de la Sécession, l'ingénieur en chef Isherwood construisit dix-neuf canonnières type *Chippewa* avec tirage forcé par cendrier clos. Cette pratique tomba en désuétude, jusqu'à ce qu'elle fut reprise par les constructeurs de torpilleurs et appuyée par les autorités navales en Angleterre. Toutes les marines de guerre emploient aujourd'hui le tirage forcé et il a été appliqué dans une certaine mesure dans la marine marchande.

L'auteur est d'avis que le tirage forcé est une très bonne chose lorsqu'il est appliqué avec discernement, et on ne saurait en rendre le principe responsable des mécomptes qu'on a eus quelquefois. Quand il arrive un accident de chaudière sur un bateau à tirage forcé, on qualifie le susdit tirage d'invention du démon et on ne parle que d'y renoncer. Avec ce raisonnement on abandonnerait toutes les inventions modernes.

Entre les deux méthodes actuellement en usage pour appliquer le tirage forcé, savoir les chambres de chauffe closes et les cendriers clos, l'auteur n'hésite pas en faveur du second système, toutes les fois qu'il peut être employé. Il fait cette restriction, parce qu'on peut lui objecter que presque tous les grands navires de guerre construits sous sa direction ont le tirage forcé par chaufferies fermées et qu'il semble ainsi ne pas prêcher d'exemple. Cela tient tout simplement à ce que, dans les navires de guerre à pont cuirassé et division en nombreux compartiments étanches, il est très difficile, avec un grand nombre de chaudières. de ventiler suffisamment les chaufferies avec l'insufflation de l'air dans les cendriers. Généralement, la température des chambres de chauffe devient intolérable et, si les chaudières marchent admirablement, les chauffeurs sont exposés à mourir de chaleur.

L'expérience qui a été faite sur le *San-Francisco* et sur d'autres navires montre la différence qui existe entre les deux méthodes au point de vue de la commodité, de l'hygiène et de la facilité du service.

Il est utile de remarquer qu'avec le système à cendrier fermé, si on a un peu de précaution dans la conduite du feu, on n'a jamais de fuites aux tubes, ce qui arrive au contraire très fréquemment avec l'autre système, c'est-à-dire à chambre de chauffe close.

L'auteur doit résister à la tentation de s'étendre quelque peu sur le sujet des fuites aux tubes; il se bornera à dire que, dans la marine américaine, on a réussi à échapper à peu près complètement à ce genre de difficultés, ce qui tient, dans une large mesure, à ce qu'on a évité avec soin d'imposer aux chaudières un travail excessif et il passera à l'examen d'un autre mode de tirage qui est le plus ancien et auquel on tend à revenir depuis peu. C'est le tirage naturel activé par une grande hauteur donnée aux cheminées. *(A suivre.)*

Accident du pont de Jeffersonville. — Il est arrivé récemment, aux États-Unis, un accident qui est, si on excepte celui du pont de Licking-River en 1892, le plus grave qu'enregistrent jusqu'ici les annales des ponts de chemins de fer assez riches d'ailleurs, comme on sait, en faits de ce genre en Amérique. Il s'agit de la chute, pendant la

construction, d'une partie du pont sur l'Ohio, entre Louisville et Jeffersonville, lequel réunit les États de Kentucky et d'Indiana.

L'histoire de ce pont, déjà longue bien qu'il ne soit pas encore terminé, est fertile en incidents et en accidents. La première Compagnie pour l'établissement de cet ouvrage fut fondée en 1879, mais ce n'est qu'en 1888 qu'elle fut constituée légalement et commença ses opérations. Les travaux furent adjugés en 1889, savoir les piles et culées à Sooysmith et C[ie], de New-York, et la superstructure métallique à la Phœnix Bridge Cy, et commencèrent en octobre 1889.

Le projet comportait un pont à une seule voie composé de six travées en rivière et de viaducs d'approche. Les portées de ces travées sont respectivement : 64 *m*, — 167,75 *m*, — 168,66 *m*, — 167,75 *m*, — 104 *m*, — 104 *m*, comptées d'axe en axe des piles, soit un total de 776,16 *m* ; si on ajoute 1 242 *m* pour les approches du côté de l'Indiana et 833 *m* pour celles du côte du Kentucky, on arrive à une longueur totale de 2853,16 *m*.

Le système général de construction consiste en poutres articulées à la mode américaine à corde supérieure courbe et de très grande hauteur puisque les travées de 168 *m* n'ont pas moins de 27 *m*. Les poutres parallèles sont réunies eutre elles transversalement en haut et à moitié de la hauteur; le plancher avec la voie est à la partie inférieure.

Les piles 3, 4 et 5 furent fondées avec des caissons en bois et l'emploi de l'air comprimé. La pile 5 fut le théâtre d'un accident survenu le 9 janvier 1890 et qui coûta la vie à 14 personnes. Nous en avons rendu compte dans la Chronique de mars 1890. Au mois de mai de la même année un accident arrivé à la pile 4 entraina la mort de 7 ouvriers. Les piles et culées furent terminées en 1891 et les travaux furent arrêtés à ce point pour des raisons de l'ordre financier.

Une nouvelle Compagnie reprit l'affaire et on recommença au commencement de 1893. Le montage du pont était en bon état d'avancement lorsqu'il a été interrompu, le 15 décembre dernier, par l'accident ou plutôt, les accidents qui font l'objet de cette note. Voici les faits tels qu'ils résultent des récits des journaux américains qui sont pleins de détails sur cette catastrophe.

La travée 3, la plus longue, était terminée et débarrassée de ses échafaudages, la travée 4 était en montage sur des échafaudages en charpente dont la hauteur n'était pas de moins de 30 *m* au-dessus du niveau de l'eau et reposant sur des pieux battus dans le fond. Le montage se faisait au moyen d'un pont roulant sur deux voies parallèles. Un certain nombre de panneaux de la travée 4 étaient déjà en place, lorsque le 15 décembre au matin s'éleva un vent qui prit rapidement une grande violence. Ce vent, agissant sur le pont roulant très chargé à la partie supérieure et naturellement peu stable, le souleva d'un côté de manière à faire reposer sur un seul côté son poids et celui des pièces qu'il portait ; cet excès de charge amena la rupture de quelques pièces de l'échafaudage l'équilibre se trouva rompu et par l'action combinée du vent et de la pesanteur, en un clin d'œil, le pont roulant, la partie déjà montée des deux poutres métalliques et la presque totalité de l'échafaudage furent précipités dans la rivière. Il ne fallut que quelques instants pour que

l'intervalle entre les piles 3 et 4, obstrué par une forêt de pièces de bois devint absolument libre de tout obstacle comme dans un changement à vue de théâtre.

Quelques heures plus tard un second accident, plus curieux encore que le premier, se produisait. Le vent continuant à souffler avec une violence de plus en plus grande, tournant même au cyclone, la travée n° 3, complètement achevée depuis un mois, munie de son plancher et entièrement débarrassée de ses échafaudages de montage, fut soulevée de ses appuis sur les piles et précipitée verticalement dans la rivière dans le fond de laquelle elle est venue reposer sans paraître à première vue avoir subi de très grands dommages. Les rouleaux de dilatation sont seuls restés sur les piles. Ces deux accidents successifs ont coûté la vie à 21 ou 22 personnes et il s'en est fallu de quelques secondes que le pont, dans sa chute, n'écrasât un remorqueur qui passait dessous et dont le personnel serait venu s'ajouter au nombre des victimes.

La travée 3, de 167,75 de longueur, pesait 800 *t* environ. Des journaux américains calculent que, pour soulever ce poids, le vent, agissant sous le plancher de $167{,}75 \times 9{,}15 = 1\,535\ m^2$, aurait dû exercer un effort de plus de 500 *kg* par mètre carré. C'est bien difficile à admettre, d'autant plus que la totalité de la pression du vent ne pouvait s'exercer verticalement sous le plancher. Il est plus logique de supposer une pression latérale exercée sur des poutres à mailles assez serrées, ayant deux surfaces relativement rapprochées l'une de l'autre, ayant fait glisser le pont sur les rouleaux dépourvus de moyens d'arrêt suffisant dans le sens latéral, ou encore un flambage ou gauchissement des poutres très élevées et insuffisamment entretoisées, causé par le vent et ayant provoqué la chute de l'ouvrage, peut-être même plusieurs causes réunies.

Nous avons indiqué, dans la Chronique de mars 1890, le cas d'un pont sur le Volga, où le déplacement latéral d'une travée de 106 *m*, pesant 700 *t*, a été amené par la pression du vent. L'accident est, du reste, encore trop récent pour qu'on ait déjà des appréciations bien exactes relativement aux causes de cette catastrophe qui a produit aux États-Unis une émotion facile à comprendre.

La flottille du Congo. — Nous empruntons à un article de M. Gebelin, paru dans le Bulletin de la *Société de Géographie commerciale de Bordeaux*, les renseignements intéressants qui suivent :

La région du Congo est une de celles où les chiffres indiquent le mieux la rapidité des progrès accomplis. Il y a seize ans (1877), Stanley, se frayant un brusque passage à travers les populations barbares, descendait le premier le Congo et révélait au monde l'immensité de ce fleuve. Quatre ans après (1881), avec un petit vapeur péniblement transporté pièce à pièce au milieu des montagnes du cours inférieur, il se lançait de nouveau sur le Congo, cette fois pour le remonter. Aujourd'hui, une quarantaine de vapeurs sillonnent ce même cours d'eau.

Il s'agit ici des seuls vapeurs fluviaux et non des navires de mer qui sillonnent l'estuaire, de Banane à Matadi. En amont de Matadi commence, on le sait, une région très accidentée qui se prolonge, sur 300 *km*, jusqu'au Stanley-Pool et que le fleuve traverse précipitamment en for-

mant plus de trente cataractes. Cet immense barrage intercepte absolument les communications par eau. La navigation maritime sur l'estuaire finit à Matadi; la navigation fluviale commence, par l'aval, 300 *km* plus loin, au Stanley-Pool, et demeure possible sans interruption, toute l'année, jusqu'aux Stanley-Falls, sur une longueur de 1 700 *km*. Au Stanley-Pool, le Congo, sur le point de descendre dans l'étranglement des montagnes, s'épanouit en forme de lac; là sont Brazzaville, la station française; Léopoldville, la station de l'État indépendant du Congo; ce sont les ports d'attache de la flottille fluviale.

Un chemin de fer, entrepris par les Belges, reliera un jour les transports maritimes aux transports fluviaux, Matadi au Pool, en passant par la région accidentée de la rive gauche. La construction de cette route est commencée par l'aval et, sur quelques dizaines de kilomètres, les obstacles semblent surmontés et la voie à peu près en état d'être ouverte assez prochainement. Sans doute, il faudra du temps et de grosses dépenses avant d'atteindre le Pool; des mécomptes sont survenus et, en pays tropical, il est bien malaisé de les éviter. L'œuvre se poursuit néanmoins et elle profitera à la civilisation.

C'est au milieu de cette région difficile, où l'on s'applique à préparer une voie ferrée, qu'il a fallu hisser, morceau par morceau, toutes les embarcations qui composent la flottille fluviale à vapeur du Congo.

« Chacun de ces bateaux qui flottent si fièrement sur les vastes eaux du Pool a dû être transporté pièce par pièce, à dos d'homme, au travers du pays le plus tourmenté qui soit. Il a fallu escalader les montagnes. franchir des fondrières, passer par-dessus les rivières torrentueuses aux berges escarpées, se hisser le long de rocs presque infranchissables. Certaines pièces, pour l'ascension des pentes, ont exigé des attelages de plusieurs centaines de nègres. »

Ainsi s'exprime le journal *le Congo illustré* (Bruxelles). C'est à cette publication que sont empruntés, en ce qui concerne la navigation fluviale du Congo, les éléments de la présente note.

Les steamers du Haut-Congo jaugent de 10 à 45 *t*. Depuis quelques années, on tend à leur donner un cubage moyen de 30 *t* et à substituer l'acier au bois dans la construction de la coque.

Le *Congo illustré* donne la liste détaillée des vapeurs fluviaux. Ils sont la propriété des gouvernements (État indépendant du Congo, colonie du Congo français), des maisons de commerce (Société anonyme belge du Haut-Congo, maison hollandaise), des missions chrétiennes (mission de Scheut, mission du Saint-Esprit, Baptist missionnary Society, American baptist missionnary Union, Congo Balolo Mission).

Aux vapeurs s'ajoute un nombre au moins égal d'allèges d'acier et de baleinières. Aux eaux navigables du Congo s'ajoutent celles de nombreux et puissants affluents, comme le Lomami et le Kassaï à gauche, l'Arououimi, l'Oubangui, la Sanga à droite. Et c'est ainsi que, grâce à la navigation fluviale, sont devenues possibles des explorations aujourd'hui à peu près incessantes, dont le réseau de plus en plus serré recouvre un vaste espace, le plus vaste qui ait jamais été parcouru en si peu de temps.

Chemin de fer transandin d'Antofagasta à la Bolivie. — On a beaucoup parlé, dans ces derniers temps, du chemin de fer transandin entre l'Argentine et le Chili, encore inachevé, et du Central Péruvien, dont le passage à travers les Andes a été ouvert cette année, tandis que l'attention s'est fort peu portée sur un ouvrage du même genre, très intéressant pourtant, qui a franchi la même chaine depuis plusieurs années et relie les hauts plateaux de la Bolivie à l'Océan Pacifique. C'est le chemin de fer d'Antofagasta qui, aboutissant d'abord à la ville d'Uyuni en Bolivie, a été prolongé depuis un an d'Uyuni à Oruro, son terminus actuel situé à 925 *km* du point de départ sur le Pacifique. On a fait le tracé d'un prolongement sur La Paz, capitale de la République, sur une distance de 224 *km*, et on fait les études d'un embranchement de 100 *km* environ entre Uyuni et Potosi.

Cette ligne a surtout été construite pour desservir des mines, et le fait le moins remarquable n'est pas l'écartement, qui n'est que de 0,76 *m* (30 pouces). Malgré cette voie réduite, c'est de beaucoup, jusqu'ici, le plus important des trois chemins de fer qui traversent les Andes, et son trafic est appelé à devenir de plus en plus considérable. Ce chemin a été construit très économiquement, comme il convenait à une ligne établie d'abord pour des intérêts locaux et poussée peu à peu jusqu'à une longueur qui dépassera 1 000 *km*. La voie est en rails de 18 *kg*. Il y a quarante-six locomotives, dont le parcours annuel a été, en 1892, de 2 485 000 *km*, soit en moyenne 54 000 chacune.

On a transporté, en 1892, 416 200 *t* de marchandises et 21 700 voyageurs, dont le produit brut a été de 6 180 000 *f*, soit une recette brute de près de 11 000 *f* par kilomètre. Les dépenses se sont élevées à 4 millions de francs en nombres ronds, dont 168 000 *f* pour les frais d'administration. 1 054 000 *f* pour les dépenses du matériel et de la traction, et 1 115 000 *f* pour les dépenses relatives à la voie et à l'entretien des ouvrages d'art; le reste concerne le service de l'exploitation, les télégraphes, la police, etc. Le produit net est ainsi de 2 180 000 *f*. Ces chiffres sont seulement approximatifs, parce qu'ils proviennent de la réduction d'abord des monnaies chiliennes en monnaies américaines faites par les journaux américains, où nous trouvons ces renseignements, puis de la transformation de la monnaie américaine en monnaie française que nous avons dû faire après. Le fait d'un chemin de fer si considérable à voie de 0,76 *m* est remarquable. Il est probable que, si on eût prévu son importance future, on l'eût fait à voie plus large; mais il n'en suffit pas moins tel qu'il est à un trafic assez important mis en évidence par un produit brut kilométrique que seraient heureux d'avoir nos chemins de fer à voie de 1 *m* et même d'autres.

Nouvelles locomotives à marchandises en Allemagne et en Angleterre. — On a construit l'année dernière, en Allemagne et en Angleterre, de nouvelles locomotives à marchandises, qui sont surtout intéressantes en ce qu'elles indiquent une déviation complète des idées prédominantes depuis longtemps dans ces deux pays pour ce qui concerne ce genre de machines. Ce sont, en effet, des machines à huit roues couplées.

Nous citerons d'abord des locomotives construites aux ateliers du Lon-

don and North Western à Crewe, pour le service des trains de charbon de cette ligne, sur les plans de M. F. W. Webb.

Les essieux sont au nombre de quatre, tous accouplés ensemble, le dernier en arrière du foyer, à la mode anglaise; ce qui, avec le diamètre de 1,68 *m* pour les roues, conduit à l'écartement considérable pour les essieux extrêmes de 5,26 *m*. Les essieux d'avant et d'arrière ont un jeu transversal de 12 1/2 *mm*. Il y a trois cylindres les uns à côté des autres et agissant tous sur le même essieu, le second; le cylindre central, à basse pression, a 0,762 *m* de diamètre; les cylindres extérieurs à haute pression ont 0,381, ce qui donne un rapport de volume de 1 à 2. La course est de 0,610 *m* pour les trois cylindres. Les extérieurs ont une distribution par coulisse, et l'intérieur, une distribution à détente fixe par un excentrique à toc, comme M. Webb l'a fait dans ses dernières machines à voyageurs.

La chaudière fonctionne à la pression de 12 1/2 *kg*; la grille a 1,91 m^2 de surface. Il y a 210 tubes de 47 *mm* de diamètre et 4,06 *m* de longueur. La surface de chauffe directe est de 10,66 m^2; la surface tubulaire, de 127,51 m^2, et la surface totale, de 138,17 m^2.

La répartition du poids sur les quatre essieux est assez inégale, comme on pouvait s'y attendre, d'après la disposition générale. L'essieu d'avant porte 12 700 *kg*; le second, 14 600; le troisième 12 900, et, enfin, celui d'arrière, 9 800, ce qui fait, pour la machine en service, un total de 50 *t* en nombre rond. L'effort de traction à la marche compound peut être évalué, en comptant 0,50 sur les petits cylindres, ce qui fait que le coefficient de réduction disparaît, puisqu'il y en a deux, à $p \frac{d^2 l}{D} = 6\,580$ *kg*, correspondant à 1/7,6 du poids total.

Ce coefficient d'adhérence assez bas pour une locomotive à tender séparé ferait supposer, bien que les journaux anglais qui donnent des renseignements assez sommaires sur cette machine ne l'indiquent pas, qu'on a pris quelque disposition pour envoyer au besoin de la vapeur vive au grand cylindre, de manière à augmenter momentanément l'effort de traction.

Il est à peine besoin de faire voir que, dans ce modèle, bien qu'il ait encore trois cylindres, rien ne rappelle le type à voyageurs de M. Webb, dans lequel les cylindres agissent sur des essieux différents, de manière à mieux répartir les efforts. Il rappellerait plutôt la machine à trois cylindres essayée par Struve en Russie, en 1881.

On dit que ces machines donnent de bons résultats, bien qu'on n'ait pas encore ceux des essais comparatifs qui doivent être faits entre elles et les machines du même genre, mais à deux cylindres seulement, construites peu avant par M. Webb pour le service des trains de charbon sur le London and North Western.

Les Allemands n'ont jusqu'ici employé qu'exceptionnellement les locomotives à plus de trois essieux accouplés. Les Chemins badois avaient fait construire, il y a une vingtaine d'années, quelques machines à huit roues couplées et les chemins de fer du Wurtemberg ont, depuis peu, quelques machines à 5 essieux accouplés avec des bielles articulées du système Klose.

La Société hanovrienne, autrefois G. Egestorff, a construit l'année dernière une locomotive qui se trouve la 2500e sortie de ce grand établissement et qui paraît avoir été inspirée par un modèle américain ; c'est en réalité une machine *Consolidation*, c'est-à-dire à 8 roues accouplées et un essieu porteur en avant des cylindres.

Les roues accouplées ont 1,250 *m* de diamètre, les roues de support, 1 *m* ; l'écartement des essieux parallèles est de 4,100 *m* et l'écartement total de 6,30 *m*. La pression est de 12 *kg*, la surface de grille de 2,30 m^2 et la surface de chauffe totale de 144 *m*, le diamètre du corps cylindrique est de 1,600 *m*, le foyer est sur l'essieu d'arrière et il y a une boîte à fumée prolongée.

Il y a deux cylindres : l'un à haute pression de 0,530 et l'autre à basse pression de 0,750 de diamètre placés extérieurement et légèrement inclinés par rapport à l'horizontale, la course est de 0,630 *m*.

Il y a une glissière unique pour guider la tête de la tige du piston ; elle est, comme d'habitude, en dessus.

Les tiroirs sont à l'intérieur et sont commandés par des coulisses Allan. Une particularité de cette machine est qu'elle est disposée pour fonctionner à volonté comme machine compound ou comme machine ordinaire avec admission et échappement indépendants aux deux cylindres. A cet effet, elle est munie de l'appareil de démarrage non automatique de notre système, modifié, quant à la forme des obturateurs, par M. von Borries, dont il a été question dans le procès-verbal de la séance du 20 octobre 1893 de la Société des Ingénieurs Civils de France.

La machine a un frein à vapeur ; elle porte un abri très prolongé à droite vers l'avant pour donner place au mécanicien. Le poids est de 51 *t* à vide et de 58 en charge dont 52 pour l'adhérence ; avec le tender plein, le poids total est de 90 *t*. L'effort de traction à la marche compound est de 8500 *kg;* avec introduction directe, il serait bien supérieur,

En comptant 3 *chx* seulement par mètre carré de surface de chauffe, l'effort de traction réalisable à la vitesse de 15 *km* à l'heure est de 7 900 *kg*.

L'effort correspondant à l'adhérence à 0,15 est de 7 800 *kg*.

Ce type de machine est destiné à faire sur des sections accidentées de l'État prussien des trains qui exigent actuellement la double traction avec les machines à six roues couplées.

Ces locomotives ont été commandées par la direction de Hanovre ; d'autre part, la direction de Cologne R. G. du Rhin essaye actuellement. ainsi que l'État de Bade, des machines compound articulées à deux groupes de deux essieux chacun pesant environ 56 *t* en service. Elles ont un peu plus de poids adhérent avec un peu moins de poids total et un peu plus de volume de cylindres de détente avec la même surface de chauffe que les locomotives précédentes. Elles ont une grande analogie, sauf l'addition d'un tender indépendant, avec les locomotives du même système employées par le chemin de fer Central Suisse, représentées sur les figures 5 et 6 de la planche XIII du *Bulletin* de juillet 1890 de la Société des Ingénieurs Civils de France. On aura ainsi une comparaison intéressante entre deux types de machines compound de même puissance, l'un à deux, l'autre à quatre cylindres.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Octobre 1893

Rapport de M. Imbs sur le mémoire de M. T. Schloesing fils relatif aux **propriétés hygroscopiques des matières textiles.**

L'auteur du mémoire décrit la méthode et les résultats des expériences qu'il a faites sur les proprietés hygrométriques des fibres textiles. Cette question est d'une extrême importance au point de vue des transactions commerciales dont ces matières sont l'objet et il est nécessaire qu'on possède des coefficients rigoureusement exacts à ce sujet, des erreurs, même faibles, multipliées par des quantités considérables, donnant des différences très grandes.

Le mémoire est accompagné de tables numériques et de tableaux graphiques où les résultats sont représentés par des courbes.

Sur la **rupture des cylindres trempés**, par B.-H. Twaite. (Traduit de l'*Iron.*)

Les cylindres de laminoirs obtenus par fusion sont sujets à se fendre à chaud ou à froid et l'étude des causes de ce phénomène peut conduire à des améliorations dans les procédés de coulée. L'auteur entre dans de longues considérations sur ces procédés, sur la composition des fontes à employer et sur la trempe, de même que sur les proportions à adopter entre les cylindres eux-mêmes et leurs tourillons.

Sur l'emploi des enveloppes de vapeur, par M. H. Davey. (Extrait des *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.*)

C'est le résumé d'expériences dont les résultats ont été recueillis par une Commission nommée par l'*Institution* pour étudier la question des enveloppes de vapeur. Quelques-unes de ces expériences ont été faites par la commission elle-même.

Des tableaux résument ces résultats en les classant relativement aux divers systèmes de machines, tels que machines à un cylindre avec ou sans condensation, machines compound avec et sans condensation et machines à triple expansion avec condensation. Les données consistent dans les dimensions des cylindres, la disposition des enveloppes, la vitesse du piston, le travail développé, la pression de la vapeur, la dépense d'eau d'alimentation par unité de puissance avec et sans enveloppe et enfin l'eau dépensée par les enveloppes par cheval et par heure.

Le rapport de la Commission a été discuté devant l'Institution et des observations ont été présentées. On a rappelé que si l'emploi des enveloppes donnait de l'économie, il a encore d'autres avantages au point de vue de la conservation des cylindres qui sont moins exposés à des températures inégales. Ce fait avait déjà été remarqué par les premiers

constructeurs. On a été amené à comparer les avantages de la surchauffe à ceux des enveloppes et plusieurs membres ont insisté sur ce fait que si les enveloppes ont, dans certains cas, donné des résultats nuls ou négatifs, c'était parce qu'elles étaient mal disposées ou qu'elles ne fonctionnaient pas. Il est en effet de la plus haute importance qu'elles soient purgées non seulement d'eau, mais encore d'air d'une manière efficace et continue; or, l'élimination de l'air est particulièrement difficile à obtenir. Il est utile de chauffer non seulement les cylindres, mais encore les pistons, ainsi que cela a été proposé et même essayé depuis longtemps.

Valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur. — Recherche de la capacité calorifique de l'eau à diverses températures, par E.-H. Griffiths. (Extrait du Bulletin de la *Royal Society*.)

La recherche de la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur est basée sur le résultat d'expériences effectuées dans le but d'établir une relation entre les unités électriques et les unités mécaniques.

Le principe de la méthode employée est l'usage d'un calorimètre avec lequel on détermine l'échauffement résultant du passage d'un courant électrique dans un circuit disposé à l'intérieur de cet appareil. Des précautions particulières sont usitées pour maintenir invariablement la température extérieure, point dont dépend le succès de la méthode qui paraît simple en théorie, mais très délicate et compliquée en exécution.

On a trouvé ainsi pour la valeur de l'équivalent mécanique de la chaleur 427,25 *kgm* à la latitude de Greenwich; cette valeur dépasse de 1/350 la valeur moyenne trouvée par Joule.

Novembre 1893.

Rapport de M. H. Le Chatelier sur les **travaux du professeur Roberts Austen.**

Ces travaux sont surtout constitués par les recherches sur les alliages métalliques et peuvent se diviser en deux classes: les travaux relatifs aux métaux précieux qui se rattachent aux occupations habituelles de l'auteur qui est chimiste de la Monnaie royale de Londres, et les autres, concernant le fer, lesquels dépendent d'une mission à lui confiée par le Comité de recherches de l'*Institution of Mechanical Engineers*. Il est intéressant de noter que ces dernières recherches soit faites pour continuer les travaux bien connus de notre collègue M. Osmond sur les changements d'état moléculaires du fer, travaux qui ont été particulièrement appréciés en Angleterre.

M. Roberts Austen a eu surtout le mérite de faire ressortir des faits particuliers observés par lui des lois générales applicables à tous les alliages et qui donnent des indications précieuses sur les relations entre les propriétés physiques de ces alliages et leur composition.

Installation électrique de Montmédy. — L'objet de cette installation, qui remonte à trois ans, est d'assurer l'éclairage municipal et l'éclairage particulier. Le premier consiste en 80 lampes de 8, 10 et 16 bougies et 10 lampes à arc de 400 bougies. Cet éclairage fonctionne toute l'année, mais l'été les lampes à arc sont remplacées par des

lampes à incandescence de 16 bougies. L'éclairage particulier se compose actuellement de 270 lampes de 16 bougies. L'usine fournit en outre de la force motrice pour un chiffre d'environ 10 *chx*. Le courant est fourni au compteur horaire tant pour l'éclairage que pour les moteurs.

La force génératrice est donnée par une machine à vapeur Weyler et Richemond de 25 *chx* actionnant une dynamo Schukert de 90 ampères et 220 volts. Il y a de plus une batterie d'accumulateurs de 112 éléments de 60 *kg* de plaques chacun.

Ces accumulateurs peuvent être chargés indifféremment ou par la dynamo Schukert actionnée par la machine à vapeur ou par un poste hydraulique situé à deux kilomètres de distance et qui envoie le courant sous une tension de 285 volts. Le moteur de ce poste est une turbine à axe vertical fonctionnant sous une chute de 5,50 *m* à la vitesse de 270 tours. Il actionne une dynamo à inducteurs type Manchester avec noyaux et épanouissements en tôle de fer doux.

Toute cette installation, qui est très remarquable et contient des dispositions spéciales et intéressantes, a été faite par M. Chatiliez.

L'élimination du soufre dans la fabrication du fer, par M. J.-E. Stead. (Extrait de l'*Iron*.)

L'auteur passe en revue les travaux des métallurgistes qui se sont occupés de cette question d'un très haut intérêt. Il examine successivement les sources d'où provient le soufre qui se mêle à la fonte et les tentatives faites pour éliminer le soufre dans les matières premières telles que le coke et la houille, la marche que suit le soufre pour s'unir au fer et s'en séparer ensuite et se combiner aux scories, les réactions qui se passent dans le puddlage et les autres opérations où l'oxyde de fer en excès agit sur une fonte sulfureuse, l'élimination du soufre dans le convertisseur Bessemer et le four Martin et dans le procédé basique de préparation de l'acier. Sont enfin examinés quelques procédés proposés ou essayés pour l'élimination du soufre.

Application de la chaleur intense du gaz à la modification superficielle des métaux. (Extrait du *Journal of Gaz-Lighting*.) Il s'agit d'un procédé dû à M. Bandsept, de Bruxelles, pour le revêtement des métaux, procédé basé sur l'emploi de substances imprégnantes très divisées lancées par un jet de gaz comprimé sur les surfaces métalliques portées à une haute température. C'est le même jet qui chauffe ces surfaces en même temps qu'il entraine les matières imprégnantes.

Une température élevée est nécessaire, aussi emploie-t-on un mélange d'air ou d'oxygène et de gaz dans les proportions convenables, ce qui permet d'atteindre 2 000° C. Des précautions spéciales sont prises pour obtenir un mélange préalable intime des éléments gazeux, ce qui est indispensable pour obtenir ces températures. On échauffe ainsi la croûte extérieure du métal si rapidement que le calorique n'a pas le temps de se propager dans la masse.

Au lieu de projeter les matières imprégnantes sur le métal, on peut aussi placer sur celui-ci une feuille mince qui se trouve soudée instantanément par la chaleur. Ce procédé permet de modifier la surface des

objets métalliques non seulement au point de vue de leur conservation, mais encore pour leur communiquer certaines propriétés ou certaines immunités. Il peut rivaliser dans beaucoup de cas avec les méthodes électrolytiques.

Liste des membres du Bureau et du Conseil depuis la fondation de la Société (1801).

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Septembre 1893

Reconstruction des ponts Morand et Lafayette sur le Rhône à Lyon, par M. H. Tavernier, ingénieur en chef des ponts et chaussées.

Le pont Morand avait été construit en 1774 avec dix-sept travées en charpente de chêne, et le pont Lafayette, en 1828, avec neuf travées en bois; ces ponts étaient devenus d'un état de vétusté inquiétant pour la sécurité de la circulation; de plus, la multiplicité des travées était gênante pour la navigation. On résolut donc de reconstruire ces ouvrages aux frais communs de l'État et de la ville de Lyon. Il fut décidé de réduire le nombre des travées à trois, de faire des ponts en arc pour leur donner un caractère plus monumental et pourvoir aux exigences de la navigation et, enfin, d'employer l'acier ponr réduire la hauteur des arcs à la clé et faciliter le raccordement des ponts avec les rues et quais avoisinants.

Les portées sont respectivement de 67,40 *m* pour les arches centrales et 63 *m* pour les arches de rives, avec des flèches de 4,44 *m* et 3.96 *m*, ce qui correspond à des surbaissements de 1 à 15,18 et 1 à 15,91. Ces surbaissements sont probablement les plus forts qui aient été réalisés jusqu'ici pour des ponts à grandes ouvertures. Les travaux ont été adjugés en juin 1887 à la Société du Creusot et à la Compagnie de Fives-Lille, associées en vue de leur exécution. Ces Compagnies, tout en restant solidairement responsables vis-à-vis de l'administration, se sont chargées en fait, la première, du pont Morand et, la seconde, du pont Lafayette.

On a commencé par construire, pour la circulation, des ponts provisoires en charpentes, en amont et à une vingtaine de mètres des anciens ponts. Ces ouvrages ont coûté 183 000 *f* pour le pont Morand et 161 000 *f* pour le pont Lafayette. On a ensuite démoli les anciens ponts.

Les affouillements du Rhône atteignant 10 à 11 *m* dans la traversée de Lyon, les piles ne pouvaient être fondées qu'à l'air comprimé pour arriver à une profondeur suffisante dans les couches de sable et de gravier formant le lit du fleuve sur une hauteur supérieure aux sondages poussés à une trentaine de mètres. La profondeur des fondations a été fixée à environ 13 *m;* les piles et culées ont été fondées sur des caissons métalliques remplis ensuite de béton de ciment, la partie supérieure

étant en moellons et libages. Le poids moyen des caissons a varié de 184 à 298 *kg* par mètre carré; ces poids sont très faibles par rapport à ceux qu'on trouve dans la construction d'ouvrages analogues.

Le matériel de fonçage se composait de dix sas à air, deux sas à béton, trois compresseurs d'air, trois machines motrices, une locomobile pour les épuisements et un certain nombre d'anneaux en fonte pour constituer les cheminées. On a employé un sas à déblais avec gaine extérieure à double porte et treuil de montage mu par l'air comprimé.

Comme la vitesse du fonçage a été limitée, non par la rapidité d'évacuation des déblais, mais par l'exécution de la maçonnerie au-dessus des caissons, ce système n'a pas présenté d'avantage sensible par rapport à la méthode ordinaire. La durée effective des travaux de fondation, commencés en mai 1888 et terminés en août 1889, a été de seize mois pour le pont Morand et de quinze pour le pont Lafayette. Au premier, un accident dû à une crue, qui a rendu difficile le montage du caisson, a amené quelques retards.

La superstructure métallique a la même disposition générale pour les deux ouvrages; mais les détails sont un peu différents, notamment en ce qui concerne le remplissage des tympans et les contreventements : le premier a lieu dans un des ponts par des pièces verticales; dans l'autre, par des pièces normales à l'arc, c'est-à-dire rayonnantes.

Une partie importante du Mémoire est consacrée à la question de la nature et des essais des matériaux employés. L'acier qui constitue la matière des arcs est un acier demi-doux ayant une limite d'élasticité supérieure à 24 *kg*, une résistance à la traction de 44 à 50 et un allongement à la rupture d'au moins 24 0/0, mesuré sur 0,10 *m* de longueur.

L'acier du pont Morand vient du Creusot; celui du pont Lafayette, des Aciéries de Saint-Étienne, de Terre-Noire et de Saint-Chamond.

Les épreuves des ponts ont été faites dans les conditions prescrites par la circulaire ministérielle du 9 juillet 1877, par poids mort et par charges roulantes.

La superstructure du pont Morand pèse 3 056 *t*, soit 777 *kg* par mètre carré; mais il y a près de 300 *t* de fontes d'ornement, sans lesquelles le poids n'aurait pas dépassé 720 *kg* par mètre carré. Un pont à poutres droites de cette portée n'aurait pas pesé plus de 500 à 600 *t*; l'augmentation tient au surbaissement considérable que les conditions locales obligeaient d'adopter.

La dépense totale de superstructure s'est élevée à 1 456 000 *f* pour le pont Morand et 1 493 000 *f* pour le pont Lafayette. La dépense des piles et culées n'est pas indiquée.

Le Mémoire est suivi d'un grand nombre de pièces annexes donnant, outre des renseignements statistiques sur la marche des travaux, des résultats d'essais de matériaux, des calculs sur les différentes pièces, les résultats des épreuves par poids mort, etc.

Notice nécrologique sur M. H. Jaquemet, inspecteur général des Ponts et Chaussés, par M. de Lancelin, inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite.

SOCIETÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Réunion de Saint-Etienne

Séance du 2 décembre 1893.

Dictionnaire des explosifs. — Il est présenté une analyse de cet ouvrage de M. Cundill, lieutenant-colonel de l'artillerie anglaise, traduit et remanié par M. Desortiaux, ingénieur des Poudres et Salpêtres (Gauthier-Villars, éditeur). Ce dictionnaire comprend tous les explosifs qui ont été employés ou proposés jusqu'ici, classifiés de la manière suivante : 1° poudres noires ordinaires; 2° poudres nitratées; 3° poudres chloratées; 4° dynamites; 5° pyroxytes; 6° poudres picratées; 7° explosifs du type Sprengel; 8° explosifs divers et fulminates.

Explosifs de sûreté : Grisoutite, Wetter-dynamites. Explosifs à base d'azotate d'ammoniaque, par M. A. Macquet, Directeur de l'École des Mines du Hainaut. (Baudry et Cie, éditeurs.)

Il est principalement question, dans cet ouvrage, des résultats des expériences entreprises sur les explosifs dits de sûreté, dans le champ d'essai installé en 1889 par le Charbonnage des Produits, en Belgique. Ces expériences ont notamment mis en lumière un fait très important, l'existence d'une *température critique* du mélange grisouteux, température au-dessus de laquelle le coup de mine allume presque constamment le gaz, tandis qu'au-dessous il ne l'allume jamais. Cette température critique, bien moins élevée qu'on aurait pu le supposer *a priori*, varie, bien entendu, avec la teneur en gaz combustible, avec la grandeur de la charge et, surtout, avec la nature de l'explosif essayé. A cet égard, les explosifs à base d'azotate d'ammoniaque et les Wetter-dynamites se sont montrés, dans les expériences des Produits, nettement inférieurs à la grisoutite de MM. Müller. Aussi M. Macquet, constatant ce fait, considère-t-il ce dernier composé comme étant *actuellement* celui qui présente le plus de sécurité pour les mines en présence du grisou et des poussières.

Communication de M. Leproux sur l'**exploitation et la préparation de la houille en Pensylvanie.**

Parmi les nombreux bassins houillers des États-Unis, le plus important, non pour l'étendue, qui n'est que de 1 300 km^2, mais pour la production, est le bassin anthracifère de Pensylvanie. Il a produit, en effet, en 1891, plus de 50 millions de tonnes de 906 *kg*, soit 45 millions de tonnes métriques sur 168 millions que représente la production totale des houillères des États-Unis pour l'année correspondante. Il est intéressant de faire observer que cette production n'est guère que la moitié de celle de l'Europe dans laquelle l'Angleterre entre à elle seule pour

180 millions de tonnes. Mais la production américaine se développe très rapidement.

L'auteur a examiné spécialement les mines des environs de Pittsburgh et les ateliers de préparation mécanique de la même région.

Aux environs de Pittsburgh on exploite la houille pour charbon à gaz, et à Connesville, à 100 *km* de là, on l'exploite pour la fabrication du coke. La méthode d'exploitation est la même ; on opère en faisant des chambres de 3,60 *m* de largeur où travaillent deux ouvriers, on pousse le chantier jusqu'à 75 *m* environ ; la chambre est alors terminée et on bat en retraite en prenant le plus possible des piliers et en laissant le toit s'ébouler derrière. On emploie souvent des machines pour l'abatage. Le transport et l'extraction ne présentent rien de particulier que quelques détails intéressants qui accélèrent la rapidité des opérations.

A Connesville, la fabrication du coke s'opère sur une échelle colossale ; il n'y a pas moins de 17 250 fours à coke, répartis en 85 batteries dont la plus importante comporte 900 fours. Ces fours sont alimentés par 89 sièges d'extraction et peuvent recevoir 35 000 *t* de charbon par jour.

Pour la préparation du charbon, on a adopté une série de dimensions types, aussi rapprochées que possible, et on emploie dans les ateliers des grilles et trommels pour le classage et des cylindres à pointes pour le broyage. Certains de ces ateliers sont installés avec des proportions considérables. On en cite qui produisent par dix heures 1 200 wagons de 2 1/2 *t* chacun. En général, peu de précautions sont prises pour empêcher le bris du charbon et les déchets sont élevés. Toutefois, des perfectionnements ont été réalisés pour parer à ces inconvénients au moyen d'appareils dus à M. Eckley B. Coxe et sont appliqués dans un atelier de préparation que l'auteur décrit avec quelques détails.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Décembre 1893

Notes et documents sur l'**Exposition de Chicago**, par M. C. Pierron.

M. Pierron faisait partie du voyage fait l'été dernier en Amérique par un certain nombre de nos collègues. Sa communication contient des détails intéressants, notamment sur la question des moteurs à vapeur qui fait l'objet d'une partie spéciale. Il passe en revue la plupart des machines exposées et en donne un dessin ou croquis. Il rappelle que parmi les perfectionnements que l'Europe doit aux constructeurs américains, on peut citer en première ligne la machine Corliss, en raison de l'influence importante et décisive qu'elle a exercée sur la construction des moteurs à vapeur. C'est cette machine qui, la première, par l'emploi d'une vitesse élevée du piston, l'ouverture et la fermeture rapide des ori-

fices d'admission et même la forme du bâti, ait réalisé sur les anciens systèmes un progrès considérable, non seulement au point de vue de la bonne utilisation de la vapeur, mais encore au point de vue de celle des matières et de l'économie de premier établissement.

Tandis que ce système, apparu en Europe vers 1867, s'y est considérablement répandu et est le point de départ de la plupart des systèmes employés, il est aujourd'hui à peu près abandonné en Amérique où le bas prix actuel du combustible lui enlève une partie de ses avantages. On préfère des machines moins chères et de construction plus simple, pouvant être conduites par le premier ouvrier venu. Les modèles les plus en faveur sont des moteurs à rotation très rapide, expansion multiple, etc., construits par série en grande quantité avec un outillage approprié et, par suite, à des prix étonnamment bas. L'extension de l'éclairage électrique a encore augmenté la demande de ces machines à grande vitesse dont le moteur Armington a été l'un des premiers.

L'auteur décrit sommairement quelques-unes des grandes machines à vapeur exposées à Chicago, et donne des renseignements sur les machines à grande vitesse les plus remarquables, dont quelques-unes, comme les moteurs Armington et Westinghouse, se sont déjà acclimatées en Europe. Il y a ajouté un tableau donnant les dimensions principales d'une vingtaine de machines horizontales de différents types. Quatre planches représentent les ensembles et les détails les plus importants des machines décrites.

Note sur les différentes **théories relatives aux phénomènes de teinture**, par M. Léo Vignon, et rapport sur cette note par M. A. Rosenstiehl.

Note sur un **moyen d'étudier les variations de vitesse d'un moteur**, par M. R. Bourcart.

Ce moyen consiste à faire commander par le moteur un dynamomètre à enregistrement et, par celui-ci, un volant bien équilibré, d'une puissance vive suffisante. Si le moteur est absolument régulier, le crayon de l'enregistreur, une fois le régime établi, tracera une ligne droite. Si, au contraire, la vitesse varie, la ligne sera ondulée au-dessus et en dessous de la droite, et il sera facile de calculer à chaque instant la vitesse variable du volant, qui ne diffère de celle du moteur que de la quantité négligeable perdue par la flexion des ressorts du dynamomètre.

Rapport de MM. A. Bourcart et L. Schlumberger sur **deux travaux remis au concours** avec les devises *[illegible]* et *Je me souviens*, concernant : l'un « les seigneurs de [illegible] et l'église de Munster aux Bois », l'autre, « la Sarre, le château de Geroldseck et Saint-Léonard ».

Rapport sur la **marche de l'École supérieure de chimie** pendant l'année 1892-93, par M. G. Schaeffer.

L'école a été fréquentée par 38 élèves, y compris les manipulateurs, dont 24 Alsaciens. En dehors de ceux-ci, les plus nombreux sont les Russes, au nombre de 11, et les Suisses de 3. La troisième année comp-

tait 8 élèves qui tous ont obtenu le diplôme; deux d'entre eux ont passé leur doctorat à l'Université de Bâle.

L'école, devenue insuffisante, va être agrandie. Une souscription, faite dans le but de couvrir les dépenses entre les grands industriels de la région, a produit déjà 63 000 *f*.

Les dépenses de l'école atteignent, pour 1892-93, une somme de M. 60 416, dont 28 000 de traitements et salaires, sur laquelle 34 000 sont couverts par l'écolage, le reste l'étant par des subventions de la ville et de la Société industrielle.

Rapport de M. Camille de Lacroix sur la **marche de l'École de filature et de tissage mécanique** pendant l'année 1892-93.

Cet exercice, qui est le 33e, a compté 40 élèves fréquentant l'école, dont 17 Alsaciens, 9 Français et seulement 6 Allemands. Ce résultat est favorable en présence de la concurrence que font à l'école de Mulhouse les écoles allemandes et quelques écoles françaises créées depuis la guerre. Vu la clientèle qui fréquente l'école, on est obligé de faire l'enseignement dans les deux langues, allemande et française.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 1. — 6 *janvier* 1894.

Propulseur à hélice, par C. Busley.

La roue Ferris, par H. Heimann.

Le service des transports à l'Exposition de Chicago, par Kollmann *(suite)*.

Appareil automatique de déchargement pour les wagonnets de transport, par C. Merckel.

Diagramme d'indicateur rapporté au temps.

Notice nécrologique sur Johann Bauschinger, par A. Martens.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Discours de M. Reuleaux au Congrès international du Génie civil à Chicago.

Groupe de Breslau. — Développement de l'industrie du soufre et de l'acide sulfurique en Silésie.

Variétés. — Turbine à vapeur de de Laval.

N° 2. — 13 *janvier* 1894.

Les locomotives compound aux États-Unis, par E. Bruckmann *(suite)*.

Le service des transports à l'Exposition de Chicago, par Kollmann *(suite)*.

Installations de chauffage au combustible liquide à l'Exposition de Chicago, par G. M. Mayer.

Métallurgie de l'or, par C. Schnabel.
Machine volante, par Wellner.
Groupe de Wurtemberg. — Installation de transport de force et d'éclairage à la filature de coton de Mulhausen a/N.
Variétés. — Le professeur H. Hertz. — Prix proposés pour 1894 par la Société Néerlandaise pour le développement de l'industrie.

N° 3. — 20 *janvier* 1894.

Machine verticale à triple expansion de 1 300 *ch*, construite par Sulzer frères à Winterthur.
Les machines frigorifiques, par H. Lorenz.
Notes de voyage sur l'exploitation des chemins de fer aux États-Unis, par A. von Borries.
Attelages automatiques aux chemins de fer américains, par H. Heimann.
Nouvelle disposition de poulies folles pour transmissions par courroies, par L. Riemerschmid.
Groupe de Hambourg. — Procédé Elmore pour la fabrication des tubes de cuivre par l'électrolyse.
Bibliographie. — Graissage des machines, par A. Kunkler.
Variétés. — Outil à air comprimé de Ross.

N° 4. — 27 *janvier* 1893.

Installations frigorifiques en Amérique, par M. F. Gutermuth.
Les machines frigorifiques, par H. Lorenz *(suite)*.
Nouvelle machine à tisser de Münzel, combinaison du métier à tisser avec le mécanisme Jacquard, par E. Müller.
Groupe de Franconie et du Haut-Palatinat. — Industrie de la fabrication des glaces en Bavière. — Machines frigorifiques.
Groupe de la Rühr. — Chauffage à la houille, système Kudlicz.
Réunion des maîtres de forges allemands à Dusseldorf, le 14 janvier 1894.
Correspondance. — Nouvelles expériences sur des machines frigorifiques.

Pour la Chronique et les Comptes rendus,
A. Mallet.

Le Secrétaire Général, gérant responsable,
A. de Dax.

LISTE

DES

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES

REÇUES PAR LA SOCIÉTÉ DES

INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

AU

1er JANVIER 1894

PUBLICATIONS PÉRIODIQUES REÇUES PAR LA SOCIÉTÉ

au 1er Janvier 1894.

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
EN FRANÇAIS											
Académie des Sciences (Comptes rendus)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Académie des Sciences, Belles-Lettres et Arts de Clermont-Ferrand (Mémoires)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Aéronaute (L')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Album National de la Fabrique et de l'Industrie	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Album de Statistique Graphique relatif aux Chemins de fer, Routes Nationales, Navigation, etc., de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Alcool et le Sucre (L')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales de la Construction (Nouvelles)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales des Chemins Vicinaux	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Annales des Mines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales des Ponts et Chaussées	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Annales du Commerce Extérieur	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

Annuaire du Ministère des Tra[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
Annuaire Statistique de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association Alsacienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Section Française)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association Amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Association Amicale des Anciens Élèves de l'Institut du Nord (Annales)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Association Amicale des Élèves de l'École Nationale Supérieure des Mines (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Chimistes de Sucrerie et de Distillerie (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Élèves des Écoles Spéciales de Liège (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association des Industriels de France contre les Accidents du Travail (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Annuaire)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Association des Ingénieurs sortis de l'École de Liège (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Association des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Gand (Annales)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur du Nord de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association des Propriétaires d'Appareils à Vapeur de la Somme, de l'Aisne et de l'Oise	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association Française pour l'Avancement des Sciences. (Comptes rendus des Sessions)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association Française pour l'Avancement des Sciences. (Informations et Documents divers)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Association Lyonnaise des Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Statuts)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association Parisienne des Propriétaires d'Appareils à Vapeur (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Association pour prévenir les Accidents de Fabrique, fondée sous les Auspices de la Société Industrielle de Mulhouse (Compte rendu)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Association Technique Maritime (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Astronomie (L')	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Avenir des Chemins de Fer (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Blé (Le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin de l'Exposition Permanente des Colonies	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin de l'Imprimerie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin des Transports internationaux par Chemins de Fer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin du Ministère des Travaux Publics	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bulletin Historique et Scientifique de l'Auvergne	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Bulletin International de l'Électricité	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Bureau International des Poids et Mesures (Travaux et Mémoires)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chambre de Commerce de Dunkerque (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Chambre de Commerce de Dunkerque (Procès-verbaux des Séances)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Chronique Industrielle	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Comité de Conservation des Monuments de l'Art Arabe	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Comité des Forges de France	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Commission Internationale du Congrès des Chemins de fer (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

Congrès International des Accidents du Travail (Bulletin du [illegible] Comité permanent)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Constructeur (Le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Construction Moderne (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Cosmos	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Documents Statistiques relatifs aux Chemins de Fer Français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Droit Industriel (Le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
École Nationale des Ponts et Chaussées. (Collection de Dessins distribués aux Élèves. — Légende Explicative des Planches.)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
École Spéciale d'Architecture	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Économiste Français (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Électricien (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Esprit Pratique (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Fer (Le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Génie (Le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Génie Civil (Le)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industrie Électrique (L')	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Industrie Textile (L')	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Ingénieur Civil (L')	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Institut des Actuaires Français (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Institut Égyptien (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Journal d'Agriculture Pratique	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal de la Meunerie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Journal de l'Éclairage au Gaz	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Chambres de Commerce (Le)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Journal des Chemins de Fer	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Photographes	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Journal des Travaux Publics	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Usines à Gaz	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Journal des Transports	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal Officiel	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Journal Télégraphique (Berne)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Marine de France (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Céramique, de la Verrerie, etc.	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur de la Papeterie Française (Le)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Fils et Tissus	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur des Intérêts Matériels	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Moniteur Officiel du Commerce	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Nature (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Observatoire de Nice (Annales)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Office du Travail (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Papeterie (La)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Portefeuille Économique des Machines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

Revue de Chimie Industrielle	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue de Législation des Mines en France et en Belgique	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue du Commerce Extérieur	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Revue du Génie Militaire	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue du Sauvetage en France et à l'Étranger	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Revue Générale des Chemins de Fer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue Horticole	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Revue Maritime et Coloniale	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue Pratique des Travaux Publics	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revue Technique et les Annales des Travaux Publics et des Chemins de Fer	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Revue Universelle des Inventions Nouvelles (Éditions A à Z)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Revue Universelle des Mines	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sciences et Commerce	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Semaine des Constructeurs (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Semaine Financière (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Service Hydrométrique du Bassin de la Seine et du Bassin de l'Adour (Observations sur les Cours d'Eau et la Pluie)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société Académique d'Agriculture, des Sciences, Arts et Belles-Lettres du Département de l'Aube	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société Belge d'Électriciens (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société d'Économie Politique (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale (Compte rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie Commerciale de Bordeaux (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie Commerciale de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société de Géographie de l'Est (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Société de Géographie de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de Géographie de Paris (Compte rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société de l'Industrie Minérale (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de l'Industrie Minérale (Compte rendu)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société de Protection des Apprentis (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société de Secours des Amis des Sciences	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société des Agriculteurs de France (Bulletin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société des Anciens Élèves des Écoles Nationales d'Arts et Métiers (Bulletin Technologique)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société des Arts. Classe d'Industrie et de Commerce (Genève)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société des Conducteurs et Commis des Ponts et Chaussées et des Contrôleurs des Mines (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société des Sciences Industrielles de Lyon (Annales)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Société des Études Coloniales et Maritimes	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société et Chambre Syndicale des Mécaniciens, Chaudronniers, Fondeurs de Paris (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Société Française de Minéralogie	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Société Française de Physique (Compte rendu)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Société Française de Physique (Mémoires)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Société Française de Physique (Séances de la)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	

Société Industrielle de Reims (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société Industrielle de Rouen (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Société Industrielle de Saint-Quentin et de l'Aisne (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société Industrielle du Nord de la France (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société Industrielle du Nord de la France (Comptes rendus)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société Internationale des Électriciens (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société Nationale d'Agriculture de France (Bulletin)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Société Nationale d'Agriculture de France (Mémoires, Séance publique annuelle)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société Scientifique Industrielle de Marseille (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Société Technique de l'Industrie du Gaz (Compte rendu des Congrès)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Société Vaudoise des Ingénieurs et des Architectes (Bulletin)	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
Société Vaudoise des Sciences Naturelles (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Statistique de l'Industrie Minérale et des Appareils à Vapeur en France et en Algérie	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Statistique de la Navigation Intérieure	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Statistique des Chemins de Fer Français	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Sucrerie Indigène (La)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Syndicat des Ingénieurs-Conseils en Matière de Propriété Industrielle (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Tableau Général des Mouvements du Cabotage	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Tableau Général du Commerce de la France	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Technologiste (Le)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Union des Chambres Syndicales Lyonnaises (Compte rendu)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Union des Ingénieurs sortis des Écoles Spéciales de Louvain (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Union Géographique du Nord de la France (Bulletin)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Yacht (Le), Journal de la Marine	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
EN ALLEMAND											
Akademie der Wissenschaften (Wien)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Annalen für Gewerbe und Bauwesen (Berlin)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Architekten- und Ingenieur Vereins zu Hannover (Zeitschrift)	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»
Centralblatt der Bauverwaltung (Berlin)	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	»
Dingler's Polytechniches Journal (Stuttgart)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Jahrbücher der K. K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus (Wien)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Niederösterreichischen Gewerbe-Vereins (Wochenschrift) (Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Eisenbahn-Zeitung (Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Oesterreichische Statistik (Wien)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Osterreichischen Ingenieur-und Architekten-Vereines (Zeitschrift) (Wien)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens (Wiesbaden)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Repertorium der Technischen Journal-Litteratur	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Schweizerische Bauzeitung (Zürich)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Vereines Deutscher Ingenieure (Zeitschrift) (Berlin)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

EN ANGLAIS

American Academy of Arts and Sciences (*Proceedings*) (Boston)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
American Engineer and Railroad Journal (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Institute of Electrical Engineers (*Transactions*) (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Institute of Mining Engineers (*Transactions*) (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of Civil Engineers (*Transactions*) (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
American Society of Mechanical Engineers (*Transactions*) (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Association of Engineering Societies (*Journal of the*) (New-York)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Bureau of Steam Engineering (*Annual Report of the Chief of*) Washington	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Canadian Institute (*Annual Archaelogical Report*) (Toronto)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Canadian Institute (*Transactions*) (Toronto)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Canadian Society of Civil Engineers (*Transactions*) (Montreal)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Chinese Lighthouses (*List of the*) (China)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
City Engineer Boston (*Annual Report*)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Electrical Engineer (The) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Electrical World (The) (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Electrician (The) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineer (The) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering and Mining Journal and Coal (The) (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering Association of New-South Wales (*Minutes of Proceedings*) (Sydney)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Engineering News and American Railway Journal (New-York	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engineering Record (The) (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Engeneering Review (The) (London)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BIMENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES	
Engineering Society of School of Practical Science (Papers) (Toronto).	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	
Engineers' Club of Philadelphia (Proceedings) (Philadelphia)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Engineers' Club of Philadelphia (Record) (Philadelphia)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	
Franklin Institute (Journal of the) (Philadelphia)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Indian Engineering (Calcutta).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Industries and Iron (London and Manchester)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Institution of Civil Engineers (Minutes of Proceedings) (London). . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»	
Institution of Civil Engineers (Private Press) (London).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Institution of Electrical Engineers (Journal of the) (London).	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland (Transactions) (Glasgow).	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Institution of Mechanical Engineers (Proceedings) (London)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Iron and Coal Trades Review (The) (London).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Iron and Steel Institute (Journal of the) (London)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	
Iron Monger (The) (London).	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	
Master-Car Builders Association (Annual Convention) (Chicago) . . .	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	
Midland Institute of Mining Civil and Mechanical Engineers (Proceedings) (Barnsley).	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	
Midland Institute of Mining Civil and Mechanical Engineers (Transactions) (Barnsley).	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»	
Mining World (The) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»	

Navy Department. Bureau of Navigation. Office of Naval Intelligence (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers (Transactions) (Newcastle-Upon-Tyne)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Nova Scotian Institute of Science (Proceedings and Transactions) (Halifax Nova Scotia)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Public Works Department. Government of Bengale (Revenue Report) (Calcutta)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Railroad Gazette (New-York)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Railway Engineer	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Society of Arts (Journal of the) (London)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Society of Engineers (Transactions) (London)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Artillery (Journal of the) Fort Monroe (Virginia)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
United States Coast Geodetic Survey (Report) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Geological Survey (Annual Report) (Washington)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
United States Naval Institute (Proceedings) (Annapolis)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
EN DANOIS											
Ingenioren (Kjobenhavn)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
EN ESPAGNOL											
Asociación Nacional de Ingenieros Industriales (Boletin) (Madrid)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Boletin de Agricultura, Mineria e Industrias (México)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Boletin de Minas (Lima)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
El Porvenir de la Industria (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Industria é Invenciones (Barcelona)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	5 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
Observatorio Météorológico Magnético Central de México (Boletin Mensual)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revista de Obras Públicas (Anales) (Madrid)	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»	»
Revista de Obras Públicas (Boletin) (Madrid)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Revista Minera Metalúrgica y de Ingenieria (Madrid)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Revista Tecnológica-Industrial (Asociación de Ingenieros Industriales) (Barcelona)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sociedad Cientifica « Antonio Alzate » (Memorias y Revista) (México)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Sociedad Cientifica Argentina	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sociedad Colombiana de Ingenieros (Anales de Ingenieria et Organo de la) (Bogóta)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sociedad Guatemálteca de Ciencias (Revista) (Guatemala)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Sociedad « Sánchez Oropesa » (Boletin de la) (Orizaba)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Universidad Central del Ecuador (Anales de la) (Quito)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN HOLLANDAIS											
De Ingenieur (La Haye)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Tidjschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs (La Haye)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN HONGROIS											
A Magyar-Mérnök-és Épitész-Egylet. Heti Értesitöje (Budapest)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»

Építő Ipar Műszaki Hetilap (Budapest)											
EN ITALIEN											
Accademia dei Lincei (Atti della Reale) (Memorie) (Roma)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Accademia dei Lincei (Atti della Reale) Rendiconti (Roma)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Accademia di Scienze, Lettere ed Arti in Modena (Memorie della Regia)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Collegio d'Ingegneri ed Architetti in Catania (Atti del)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Collegio degli Architetti ed Ingegneri in Firenze (Atti del)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Collegio degli Ingegneri ed Architetti in Napoli (Bollettino)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Collegio degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo (Atti del)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1	»
Giornale del Genio Civil (Roma)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Industria (L') (Milano)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
Ingegneria Civile e le Arti Industriali (L') Torino	»	»	»	«	1	»	»	»	»	»	»
Politecnico (Il) (Milano)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Rivista di Artiglieria e Genio (Roma)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Società d'Applicazione pergl'Ingegneri in Roma (Annuario e Programmi d'Insegnamento)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino (Atti della)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Annali della) (Roma)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
Società degli Ingegneri e degli Architetti Italiani (Bolletino) (Roma)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
EN NORVÉGIEN											
Teknisk Tidsskrift (Norsk) Kristiania	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN POLONAIS											
Przeglad Techniczny (Warszawa)	»	»	»	»	1	»	»	«	»	»	»

DÉSIGNATION DES PUBLICATIONS	QUOTIDIENNES	BI-HEBDOMADAIRES	HEBDOMADAIRES	BI-MENSUELLES	MENSUELLES	8 FOIS PAR AN	6 FOIS PAR AN	3 FOIS PAR AN	4 FOIS PAR AN	2 FOIS PAR AN	ANNUELLES
EN PORTUGAIS											
Observatorio do Rio de Janeiro (Annuario)	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1
Observatorio do Rio de Janeiro (Revista)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Revista de Obras Publicas e Minas (Lisboa)	»	»	»	»	»	»	1	»	»	»	»
EN RUSSE											
Ingénière (Kiew)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Izviéstiya Sobrania Injéniérove Poutéi Soobchtchénia (St-Pétersbourg)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
Zapiski Imperatorskagho Rousskagho Technitcheskagho Obchtchestva (Saint-Pétersbourg)	»	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»
EN SUÉDOIS											
Technisk-Tidskrift (Ny Följd) (Stockholm)	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»	»
EN TCHÈQUE											
Technicky Obzor (Praze)	»	»	»	1	»	»	»	»	»	»	»
Zpravy Spolku Architektů a Inženýrů v Království Českém (Praze)											

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 3524-2-94. — (Encre Lorilleux).

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

FÉVRIER 1894

N° 2

10° *Congrès de navigation intérieure, en 1894, à La Haye* (Désignation des délégués de la Société au). (Séance du 16 février), page 113 ;

11° *Congrès des accidents du travail, en 1894, à Milan* (Désignation des délégués de la Société au). (Séance du 16 février), page 113 ;

12° *Concours pour un projet de lampe à pétrole.* (Séance du 16 février), page 113 ;

13° *Siphon de Clichy-Asnières* (Visite aux travaux de M. Berlier, pour la création d'un). (Séance du 16 février), page 114 ;

14° *Artillerie à tir rapide* (L'), par M. P. Merveilleux du Vignaux et observations de M. G. Canet. (Séances des 2 et 16 février), pages 111 et 114 ;

Mémoires contenus dans le Bulletin de février 1894 :

15° *Percement des tunnels dans les terrains mous, fluents ou très ébouleux (Méthode Sokolowski)*, par M. H. Couriot, page 120 ;

16° *Expériences et études sur le passage en courbe du matériel roulant*, par M. Edmond Roy, page 128 ;

17° *Condenseur à jet ou trompe-condensation pour machines à vapeur*, par M. A. Lencauchez, page 185 ;

18° *Chronique n° 169*, par M. A. Mallet, page 192 ;

19° *Comptes rendus* id. page 204 ;

20° *Planches nos* 96, 97 et 98.

Pendant le mois de février 1894, la Société a reçu :

33746 — De M. Barron. *Steam Heating C°, New-York* (petit in-8°). New-York, 1894.

33747 — De l'Ecole spéciale d'architecture, année 1893-1894. *Séance d'ouverture du 10 novembre 1893*, par M. Bardoux. Paris, Delalain, 1894.

33748 — Du Collegio degl' Ingegneri ed Architetti in Napoli. *Tariffa per le competenze degl' Ingegneri ed Architetti* (grand in-8° de 29 p.). Napoli, A. Morans, 1894.

33749 — De M. F. Blum. *Album national de la fabrique et de l'industrie pour 1893.* Paris, 1893.

33750 — Du Ministère des Travaux publics de Hollande. *Colmatage des*
33751 *polders de Hollande.* Cartes de Hulst et de Neuzen, 3.

33752 — De l'Office du Travail. *Salaires et durée du travail dans l'industrie française, tome I, département de la Seine* (in-8° de 611 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1893.

33753 — De M. C. Bon (M. de la S.). *Création ou éternité. Étude de cosmologie rationnelle* (in-8° de 122 p.). Paris, J. Berthoud, 1894.

33754 — De M. Ch. Normand. *Protestation contre la mutilation de l'Esplanade des Invalides, par l'établissement d'une gare sur son emplacement* (in-8° de 32 p.). Mâcon, Protat frères, 1894.

33755 — De M. H. Bouron (M. de la S.). *Étude sur la construction des cuves de gazomètres en ciment avec ossature métallique* (in-8° de 16 p.). Paris, P. Mouillot. 1893.

33756 — Du Ministère des Travaux publics. *Statistique des chemins de fer français au 31 décembre 1892. Documents principaux.* Paris, Imprimerie Nationale, 1893.

33757 — Du Government of Bengal. *Revenue Report of the Irrigations Department, Bengal, for the year 1892-93.* Calcutta, 1893.

33758 — De M. Echalier. *Le traité de commerce franco-suisse et les objections générales au principe des traités de commerce* (in-8° de 43 p., 7 tabl. et graphiques). Paris, Maulde, 1894.

33759 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Construction du navire,* par M. Croneau (petit in-8° de 206 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33760 — Des mêmes. *Statistique de la production des gîtes métallifères,* par M. de Launay (petit in-8° de 193 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33761 — De M. Ch. Baudry (M. de la S.). *Transformation des locomotives à grande vitesse (type 1879) du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée en locomotives à bogies* (in-4° de 10 p. et 2 pl.). Paris, Vᵉ Ch. Dunod, 1894.

33762 — De M. J.-J. Heilmann (M. de la S.). *La locomotive électrique système J.-J. Heilmann* (in-4° de 13 p. avec 10 phototypies). Paris, siège de la Société, 1894.

33763 — De M. A. Hersent (M. de la S.). *Pont sur la Manche. Mémoire descriptif et estimatif à l'appui du projet de fondation des piles* (in-4° de 144 p. avec 14 pl.). Paris, siège de la Société, 1894.

33764 — De M. Ed. Badois (M. de la S.). *Vœu sur l'utilisation agricole des eaux d'égout* (in-8° de 12 p.). Paris, hôtel de la Société des Agriculteurs de France, 1894.

33765 — De M. Abernethy (M. de la S.). *The Manchester Ship Canal* (in-folio de 46 p. avec 114 fig.). London, 1894.

33766 — Du Ministère des Travaux publics. *Statistique de l'industrie minérale et des appareils à vapeur en France et en Algérie, année 1892.* Paris, Imprimerie Nationale, 1894.

33767 — De la Société d'Économie politique. *Bulletin, année 1893.* Paris, siège de la Société, 1894.

33768 — De M. Dubreuil (M. de la S.). *Étude sur les locations industrielles et sur le prix de revient de la force motrice* (in-8° de 20 p.). Lille, L. Danel, 1893.

33769 — De M. J. Guillermet. *Utilisation des chutes de la Valserine, au-dessus de Châtillon-de-Michaille, pour production de force motrice.* Rapport technique, par MM. F. Collier et Oddos. Lyon, J. Gallet, 1894.

33770 — De M. N. Belelubsky (M. de la S.). *Partie métallique du pont de 107 m. d'ouverture sur le chemin de fer Samara-Zlatooust et l'Ouest-Sibérien.*

Les membres nouvellement admis pendant le mois de février 1894, sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

L.-A. Bréviллé,	présenté par MM.	du Bousquet, de Fonbonne, Pérignon.
F.-L. Brückert,	—	Boulet, D.-A. Casalonga, Ch. Casalonga.
G.-T.-P. Collin,	—	du Bousquet, de Fonbonne, Varennes.
G.-Ch.-E. Danois,	—	d'Anthonay, Artus, Schil.
A.-E. Dardenne,	—	Abadie, L. Appert, P. Terrier.
M. Desjuzeur,	—	Léger, Lombard-Gérin, Marchegay.
J. Laporte,	—	de Coëne, Hillairet, Szarvady.
E.-T.-P. Laurent,	—	Grébus, Litschfousse, de Séprès.
L.-E. Luchard,	—	du Bousquet, Herscher, Kéromnès.
P.-E. Magnard,	—	L. Appert, Carimantrand, Hallopeau.
P.-H. Portal,	—	Cornuault, Geny, Remaury.
V.-C.-A.-L. de Quatrefages de Bréau,	—	du Bousquet, de Fonbonne, Kéromnès.
M. Roussel,	—	Bernheim, Berthon, Casevitz.
E.-F. Sautter.	—	du Bousquet, Herscher, A. Lavezzari.
W.-E. Vincens,	—	Carimantrand, Couriot, Mougin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE FÉVRIER 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 FÉVRIER 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président a le regret de faire part à la Société du décès de :

M. G. Masure, ancien Ingénieur des chemins de fer de l'Etat belge, du chemin de fer de Braine-le-Comte, de la Compagnie du chemin de fer d'Orléans à Rouen et ancien directeur de la Société de construction de chemins de fer à Bruxelles, membre de la Société depuis 1876 ;

M. J.-B.-J. Mignon, Ingénieur-constructeur bien connu, ancien membre de la Chambre de Commerce de Paris, officier de la Légion d'honneur, membre de la Société depuis 1849 ;

M. R. Guisan, Ingénieur Civil, membre du Grand Conseil du canton de Vaud, fondateur et président de la Société pour le développement de Lausanne, membre de la Société depuis 1868, auteur d'un travail de nivellement de la Suisse ;

M. M.-F. Schmidt, Ingénieur des Arts et Manufactures et Ingénieur principal de la Compagnie des Eaux pour l'Étranger, pour laquelle il a dirigé des travaux considérables en Russie, en Autriche, en Espagne et en dernier lieu en Portugal. Il était membre de la Société depuis 1877 ;

M. P.-E. d'Arcangues, Ingénieur des Arts et Manufactures de la promotion 1848, entré au chemin de fer du Nord au service de l'exploitation en 1850, qu'il n'a quitté qu'en 1890 comme inspecteur principal, à Paris, avec le titre d'inspecteur principal honoraire; chevalier de la Légion d'honneur, membre de la Société depuis 1864. Sa perte, vivement ressentie dans la Compagnie du Chemin de fer du Nord, laisse des sentiments unanimes de regrets à tous ceux, chefs, collaborateurs, ou

anciens subordonnés, qui avaient pu apprécier, pendant quarante années, son caractère et ses qualités.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société la nomination :

De M. Francq, Léon, comme officier de l'Instruction publique ;

De M. Haguet, comme chevalier du Mérite agricole ;

De M. Rémaury, comme officier de l'Ordre impérial du Dragon de l'Annam, à l'occasion de l'inauguration du premier grand puits de mine foncé au Tonkin.

M. Rémaury, qui est actuellement membre du Conseil d'administration et du Comité de direction de la Société de Kébao, compte faire prochainement à la Société une seconde communication sur les importants travaux qui se terminent actuellement aux mines de houilles de Kébao.

M. Rémaury demande la parole pour faire part à la Société d'une dépêche qui fera certainement plaisir : c'est l'annonce de la création très probable d'un port d'attache russe au Tonkin.

En vue de cette éventualité, un croiseur russe, envoyé par le Gouvernement, étudie les conditions des charbonnages et de la rade, comme dépôt de charbon et de ravitaillement.

On se préoccupe aussi, en ce moment, d'établir au même point des chantiers français de réparations et de constructions, pour éviter d'avoir recours aux ateliers étrangers de Hong-Kong.

M. le Président rappelle qu'à la suite du décès de notre regretté Vice-Président, M. Charles Herscher, dont la mort a été annoncée à la séance supplémentaire du 30 janvier dernier, une élection aura lieu à la prochaine séance du 16 février pour compléter le Bureau. L'élection aura lieu dans les mêmes conditions qu'au mois de décembre.

Si le Vice-Président est choisi parmi les membres du Comité, on procédera immédiatement après à un nouveau scrutin pour l'élection d'un membre du Comité.

Les nouveaux élus rempliront dans le Comité le vide laissé par leurs prédécesseurs et seront, comme les autres membres du Bureau et du Comité soumis au tirage au sort, conformément aux nouvelles dispositions des Statuts.

M. le Président annonce qu'il y a lieu de procéder à l'élection par la Société de trois membres pour faire partie du *Jury du Prix Nozo*.

Le Comité propose MM. Mesureur, Ed. Simon et H. Vallot comme jurés titulaires; MM. de Bovet, Le Cler et Pontzen comme jurés suppléants.

M. le Président fait inscrire ces noms sur le tableau et demande si quelques membres désirent proposer d'autres noms. Aucun autre nom n'ayant été proposé, il est procédé à l'élection au scrutin secret, conformément au règlement.

MM. Mesureur, Ed. Simon et H. Vallot sont élus jurés titulaires.

MM. de Bovet, Le Cler et Pontzen sont élus jurés suppléants.

M. le Président donne la liste des ouvrages reçus par la Bibliothèque depuis la dernière séance, liste qui se trouve à la suite du procès-verbal.

M. le Président dit que M. Belelubsky, obligé de quitter Paris la

veille, l'a prié de transmettre à ses collègues de la Société l'assurance de ses meilleurs souvenirs et ses remerciements pour l'accueil si cordial qu'on lui a fait et l'attention qu'on a bien voulu prêter à sa conférence sur les ponts métalliques en Russie.

M. le Président ajoute qu'il fera parvenir l'expression des remerciements de la Société à M. Belelubsky pour sa belle et intéressante communication et aussi pour le dérangement qu'elle lui a occasionné. *(Applaudissements.)*

M. P. Buquet demande la parole pour soumettre très respectueusement une observation à M. le Président.

Il fait observer qu'il est de tradition à la Société des Ingénieurs civils d'annoncer les récompenses qui ont été obtenues par ses membres dans d'autres Sociétés scientifiques ou industrielles. M. du Bousquet ne l'a omis probablement que parce qu'il est question de lui, aussi M. Buquet désire-t-il réparer cette omission.

La Société Industrielle du Nord de la France donne tous les ans une grande médaille d'or (médaille Kullmann) pour le travail le plus important concernant l'industrie : cette récompense vient, il y a quinze jours, d'être attribuée à M. du Bousquet.

M. Buquet, convoqué à cette réunion, a cru devoir, comme représentant la Société des Ingénieurs Civils de France, exprimer à la Société Industrielle du Nord combien nous sommes heureux de voir cette récompense attribuée à notre Président.

La Société Industrielle du Nord a été, de son côté, très heureuse que le lauréat désigné à ses suffrages soit un Ingénieur Civil, et justement celui qui, cette année, se trouve à la tête de notre Société. *(Vifs applaudissements.)*

M. le Président remercie M. Buquet des paroles qu'il vient de prononcer et aussi d'avoir bien voulu se rendre à Lille comme il vient de le rappeler. Il remercie également l'assemblée de ses marques de sympathie.

M. le Président donne ensuite la parole à M. A. Lencauchez pour sa communication sur *un Four d'affinage basique (dit Martin perfectionné)* de la Société anonyme d'Escaut-et-Meuse, à Anzin.

M. Lencauchez rappelle sa communication du 7 août 1874, où il a posé les bases de la déphosphoration sur sole basique.

A cette époque, M. Lencauchez ne connaissait pas les travaux de Tessié du Motay et d'Émile Muller sur cette intéressante question. A ce sujet, on peut considérer à bon droit Émile Muller, notre ancien Président. comme le premier auteur de la déphosphoration dans la cornue Bessemer.

Mieux renseigné en 1882, M. Lencauchez a proposé de construire les fours à sole basique tout en magnésie d'Eubée, principalement leurs voûtes. Ce n'est que vers 1884 qu'il put obtenir des briques d'Eubée très imparfaites, personne ne voulant faire la dépense des appareils et du matériel indispensables pour travailler la magnésie, la calciner à fond et en cuire les briques, dans un four à chaleur récupérée, chauffé

au gaz, donnant la température de la fusion du platine. Ce ne fut qu'en 1891-92 que M. Lencauchez put enfin obtenir ce four de ses collaborateurs.

Aujourd'hui, comme M. Lencauchez l'a fait voir dans la séance du 17 février 1893, à Eubée on fait des briques, des voussoirs et des pièces spéciales en magnésie, qui ne laissent plus rien à désirer, puisque les voûtes du four Hoffmann d'Eubée, après quatorze mois de marche continue à la température de la fusion du platine, demeurent en parfait état.

C'est ce qui a engagé une de nos plus grandes aciéries françaises à commander 40 *t* de briques en magnésie d'Eubée et une voûte en pièces spéciales et voussoirs, après avoir employé déjà 40 *t* de briques d'Eubée, lui ayant donné pleine satisfaction et l'assurance qu'en voûte, lesdites briques et voussoirs tiendraient bien dans un Martin basique, produisant le fer doux homogène (fondu), réclamant les plus hautes températures industriellement connues.

Donc, dans le courant de cette année (1894), un Martin fonctionnera en France avec une voûte en magnésie; et M. Lencauchez espère que ce sera le commencement de l'ère des très hautes températures, pour la métallurgie du fer et de l'acier; car il ne faut pas oublier qu'avec les voûtes en silice, les très hautes températures ne sont pas possibles, celles-ci coulant.

Revenant à l'objet principal de sa communication, M. Lencauchez dit que le four basique de la Société d'Escaut-et-Meuse marche avec une voûte en silice (dont les briques sont à 99 1/2 0/0 d'acide silicique). Depuis bientôt vingt mois qu'il est en service, ce four a reçu diverses améliorations et divers perfectionnements faisant partie d'un programme arrêté en 1890-91.

A sa mise en marche première, il avait déjà des gazogènes soufflés à cendriers arrosés, des canaux droits pour ses accumulateurs-récupérateurs, des puits et des chambres à poussières (pour la méthode basique) et un vannage à joint hydraulique pour le gaz. Dans ces conditions, il faisait trois coulées par jour (vingt-quatre heures) et produisait 27 à 28 *t* en dépensant 340 *kg* de houille, type Flénu tout-venant, par tonne de lingots.

Après avoir été modifié dans le profil de la sole et dans la construction de ses brûleurs, ce four a reçu le vent de tuyères à haute pression (0,900 *m* de colonne d'eau), convenablement disposées, faisant injection d'air tertiaire, appliquant la flamme sur la sole ou sur les matières à fondre et à affiner, en donnant à la voûte une durée double de ce qu'elle était avant l'application de l'air tertiaire. La production du four a été tellement modifiée, que, sans augmentation de dépense de combustible, cette production a été portée à 42 *t* par jour (vingt-quatre heures) : les frais d'entretien et de réparation ont été réduits des deux tiers, les frais généraux n'ont pas changé (par jour), la main-d'œuvre seule (par jour) a augmenté d'environ 10 0/0; de sorte que l'on peut admettre que la production de 40 *t* ne coûte pas plus que celle de 30 *t en combustible, en frais généraux et en main-d'œuvre*.

En production d'acier extra-doux soudable (fer fondu homogène), la

dépense réelle, allumages compris et entretien du feu les jours de fête, n'est que de 275 *kg* de houille Flénu tout-venant par tonne de lingots nets livrés et acceptés par le laminoir.

M. Lencauchez est heureux de signaler la bonne part qui est due à M. Malissart, membre de la Société et directeur de l'usine de la Société d'Escaut-et-Meuse, à Anzin, pour la mise en pratique de tous ces perfectionnements, comme pour sa collaboration dévouée.

M. Lencauchez ne croit pas que, jusqu'ici, on ait enregistré encore une aussi faible consommation, et c'est pourquoi il a pensé intéresser la Société, en lui faisant savoir qu'aujourd'hui on ne dépense que 35 à 40 0/0, pour faire du fer homogène fondu, de ce que l'on dépensait il y a trente ans pour faire *du fer puddlé très ordinaire.* A cette époque, les fours à puddler dépensaient entre 600 et 900 *kg* de houille de qualité longue-flamme par tonne de fer puddlé et suivant les qualités des fers obtenus : il est vrai de dire que ces fours produisaient de la vapeur qui était employée au cinglage, au pilonnage et au laminage des plats, dits plats de puddlage; mais toutes ces opérations n'arrivaient qu'à la production des paquets *pour les fours à réchauffer :* or, ces paquets ne sont que l'équivalent des lingots également *pour les fours à réchauffer;* donc la vapeur des fours à puddler était consommée par lesdits fours eux-mêmes, pour donner les paquets, soit l'équivalent des lingots. M. Lencauchez termine en ajoutant qu'il espère que, si la voûte en magnésie devient pratique, comme il le souhaite, cette faible consommation de 275 *kg* sera réduite à 200 *kg* environ, car il ne faut pas oublier que la plus grande perte des fours à très haute température est due à l'énorme rayonnement de leurs voûtes, que l'on est obligé de refroidir énergiquement, pour en assurer la conservation. Or, la voûte en magnésie, pouvant résister aux plus hautes températures des fours à chaleur récupérée, pourra être protégée contre le rayonnement (sans couler) et sera la cause de la plus grande économie aujourd'hui réalisable.

M. le Président remercie M. Lencauchez de son intéressante communication et donne la parole à M. S. Jordan.

M. Jordan ne croit pas qu'il soit rationnel de comparer le poids du charbon consommé par le four en question au poids du charbon consommé par des fours à puddler. Il est juste de dire que ce n'est pas la même qualité de charbon; on emploie pour les gazogènes la première qualité de Mons, tandis que pour le puddlage on emploie des qualités moindres dont le prix est beaucoup plus faible.

Il ajoute qu'il existe des fours à puddler qui ne consomment que 300 *kg* de charbon par tonne de fer puddlé; par conséquent, il serait inexact de dire qu'on a fabriqué de l'acier au four Martin avec une dépense moitié moindre que celle du four à puddler.

M. Lencauchez reconnait la justesse de l'observation de M. Jordan, quand on ne tient pas compte de la production de la vapeur; mais il croit que pour l'usine dont il vient de parler la qualité du charbon est absolument étrangère à la question. Avec un gazogène produisant du gaz à l'eau on a toujours un gaz riche à 43 0/0 de gaz combustible, même avec des anthracites à 10 0/0 de matières volatiles, comme avec

des charbons à 42 °/₀ de matières volatiles. La nature des gaz produits diffère seule ; ces derniers charbons donnent beaucoup d'hydrocarbures, tandis que l'anthracite donne jusqu'à 18 0/0 d'hydrogène. Il a du reste présenté un mémoire sur cette question, mémoire dont les chiffres ont été l'an dernier reproduits par M. Lavezzari. Avec les gazogènes actuels on arrive toujours non plus à 30 0/0 de gaz combustibles, mais à 42 0/0.

A la Société d'Escaut et Meuse on emploie des charbons maigres pour les fours à réchauffer au gaz.

Quant aux consommations des fours à puddler, M. LENCAUCHEZ, qui n'a pas les relations nombreuses que peut avoir M. Jordan en sa qualité de professeur, ne connaît pas de four à puddler ne consommant que 300 *kg* de charbon. Dans toutes les forges et aciéries qu'il a connues comme ingénieur-conseil, il a vu cette consommation être, le plus souvent, de 600 *kg*, mais jamais inférieure à 500 *kg* dans les usines marchant dans les meilleures conditions.

M. JORDAN fait observer qu'il compare le four Martin aux fours à puddler chauffés au gaz, comme on en a récemment construit beaucoup en Bohême, par exemple.

M. LENCAUCHEZ se range à son avis, dans ces conditions; mais il croit qu'on a tendance, en France du moins, à abandonner le puddlage et que les fours à gaz à puddler sont peu nombreux et tendent à disparaître; du reste, ils réclament, comme les anciens fours, de la vapeur pour arriver aux paquets des fours à réchauffer; de ce côté, il ne peut y avoir la moindre économie (1).

M. EUVERTE avait compris que M. Lencauchez comparait le four perfectionné dont il a parlé avec les fours à gaz usités depuis vingt ans. Il trouve qu'il y a un progrès considérable à ne consommer que 250 à 300 *kg* de charbon par tonne. Il ne faut pas confondre le four à puddler avec le four de fusion ou four Martin ; il déclare ne pas connaître de four Martin consommant guère moins de 450 *kg ;* quant au puddlage, il n'est pas nécessaire d'avoir une température aussi élevée et il admet qu'on puisse arriver à la consommation de 350 *kg* bien que cela lui paraisse déjà un très beau resultat. Mais ne dépenser que 250 à 300 *kg* de charbon dans un four de fusion lui paraît un résultat tout à fait surprenant et il rend hommage, à ce sujet, à M. Lencauchez.

M. RÉMAURY dit que pour comparer l'opération du puddlage à l'affinage au four Martin, il faudrait connaître la composition de la charge. Au four à puddler, on traite surtout de la fonte, tandis qu'au four Martin la charge comprend une partie de fonte et souvent une proportion importante de matières déjà affinées.

M. LENCAUCHEZ répond qu'à la Société d'Escaut et Meuse les charges sont formées par 2/5 de fonte et 3/5 de matières déjà affinées.

M. RÉMAURY estime, dans ces conditions, que la comparaison n'est pas possible.

(1) Il faut aussi remarquer que, dans certains pays, le puddlage, le réchauffage et le soudage du fer réclamant des fours à gaz, attendu que les combustibles dont on dispose, bois, tourbes et lignites communs, ne peuvent sur grille donner les températures requises; seul l'artifice du chauffage au gaz permet de les utiliser.

M. Lencauchez fait observer que la fusion de la fonte s'obtient très facilement, tandis que les fours ont beaucoup de peine à donner la chaleur nécessaire pour la fusion du fer. Dans les usines où l'on traite du cuivre, la consommation du charbon est réduite de moitié, parce que la température est moins élevée. Mais lorsqu'on veut atteindre la température de 1800 degrés, la consommation est considérable, parce que les causes de déperdition de chaleur sont très grandes. L'affinage au Bessemer se fait au vent froid et sans dépense de combustible, tandis que la fusion du fer doux en réclame considérablement ; elle est même impossible dans beaucoup de fours, comme dans les fours à puddler, par exemple.

M. Euverte croit que, quelle que soit la proportion de fonte et de vieilles matières qui entrent dans la composition de la charge, la quantité de chaleur dépensée reste à peu près la même. La fonte fond facilement; toutefois, le travail d'affinage conduit à une opération assez longue mais qui n'exige pas une très haute température. La fusion du fer ou de l'acier, au contraire, nécessite une température beaucoup plus élevée. mais l'opération est plus courte ; par suite, il y a à peu près compensation.

M. Rémaury ajoute que la marche du four de M. Lencauchez est supérieure par rapport à d'autres fours Martin, si les consommations indiquées sont celles d'un roulement régulier et complet depuis l'allumage du four jusqu'à son arrêt; on ne doit pas oublier, d'ailleurs, l'importance de l'action des bons chauffeurs sur les consommations dans un même four.

M. Jordan pense que M. Euverte n'est pas complètement renseigné sur les fours Martin récents. Il y a, notamment, en Angleterre, un certain nombre d'usines où l'on considère la consommation de 350 *kg* comme une consommation normale et où l'on a dû descendre même au-dessous. Pour pouvoir comparer ces chiffres à ceux de M. Lencauchez qui parle de 275 *kg*, il faudrait avoir plus de détails et comparer la qualité des charbons employés.

M. Lencauchez fait remarquer qu'en général les houilles françaises sont de 10 à 20 0/0 inférieures aux houilles anglaises et allemandes en puissance calorifique.

M. le Président résume la discussion en faisant remarquer que là où l'on dépensait autrefois 450 *kg* et plus de charbon, on n'en dépense plus aujourd'hui que 275. Par conséquent, puisque l'expérience a été faite dans les mêmes fours et dans les mêmes conditions, il est certain que l'appareil dont parle M. Lencauchez a apporté un progrès et contribué à la réalisation de cette économie.

La parole est donnée à M. P. Merveilleux du Vignaux pour sa communication sur *l'Artillerie à tir rapide.*

M. Merveilleux du Vignaux expose qu'il y a quelques années le sujet aurait paru trop spécial pour qu'il pût songer à en entretenir la Société, mais, actuellement, la question de l'armement est une question qui intéresse un trop grand nombre d'Ingénieurs pour que le sujet de la communication puisse paraître déplacé à la Société, d'autant plus qu'avec la nouvelle loi un grand nombre de membres de la Société appartiennent comme officiers à l'arme de l'artillerie.

M. Merveilleux du Vignaux dit que le sujet est trop vaste pour qu'il puisse le traiter tout entier; aussi bornera-t-il son étude à celle des canons à tir rapide en service dans la mairine ; la question de l'artillerie de campagne à tir rapide est d'ailleurs loin d'être aussi avancée.

Néanmoins, à 11 heures, M. le Président, estimant qu'il convient de laisser à la communication de M. Merveilleux du Vignaux toute l'ampleur qu'elle comporte, consulte l'assemblée pour savoir s'il n'y a pas lieu de remettre la suite à une prochaine séance.

L'assemblée consultée décide de renvoyer la suite de la communication à la prochaine séance.

M. le Président tient à remercier, dès maintenant, M. Merveilleux du Vignaux de sa lucide et très intéressante exposition, et à féliciter grandement M. Canet des remarquables solutions dont il est l'auteur. *(Vifs applaudissements.)*

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. M. Roussel et E.-F. Sautter comme membres sociétaires.

MM. L.-A. Brévillé, F.-L. Brückert, G.-T.-P. Collin, G.-Ch.-E. Danois, A.-Ed. Dardenne, M. Desjuzeur, J. Laporte, T.-P.-E. Laurent, L.-Ed. Luchard, P.-E. Magnard, P.-H. Portal, C.-V.-A.-L. de Quatrefages de Bréau et W.-E. Vincens sont reçus membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 16 FÉVRIER 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. le Président annonce que l'on va procéder à l'élection d'un Vice-Président en remplacement du regretté M. Ch. Herscher.

La parole est immédiatement donnée aux membres qui désirent présenter des candidats, puis le scrutin est ouvert.

M. Jules Fleury est élu et proclamé Vice-Président pour la fin de l'exercice 1894.

M. le Président fait remarquer que, par suite de l'élection qui vient d'avoir lieu, un siège se trouve vacant au Comité : il donnera la parole aux membres qui voudront proposer des candidats.

Le scrutin est ensuite ouvert et M. Delaunay-Belleville est élu sans concurrent. Il est proclamé membre du Comité pour la fin de l'exercice 1894.

M. le Président invite M. Fleury à prendre place au Bureau et il lui

souhaite la bienvenue comme Vice-Président. Il adresse en même temps ses félicitations à M. Delaunay-Belleville : il a suffi que son nom soit proposé à la Société pour écarter toute candidature concurrente ; c'est un hommage que ses collègues viennent de rendre à son mérite et à sa légitime notoriété.

Le procès-verbal de la précédente séance est ensuite adopté.

A cette occasion, M. le Président signale une lettre de M. Walrand relative à la communication de M. Lencauchez.

M. Walrand regrette de n'avoir pu assister à la dernière séance ; il aurait présenté quelques observations sur le même sujet et plusieurs critiques qu'il développe longuement dans sa lettre qui sera déposée aux archives à la disposition des collègues que la question intéresse.

M. le Président signale également une lettre de M. Faurie qui complète une note qui a paru dans la chronique du *Bulletin* de la Société du mois de décembre 1893. Cette lettre, relative aux expériences faites par le professeur W.-C. Roberts Austen sur le cuivre et ses propriétés suivant les faibles proportions d'éléments étrangers qu'il contient, sera également déposée aux archives.

M. le Président dépose la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance et qui sera publiée à la suite du procès-verbal.

M. le Président annonce qu'il a été prévenu par M. de Koning, membre correspondant de la Société en Hollande, que le Congrès de navigation intérieure aura lieu en 1894 à La Haye.

La Société a reçu le programme des travaux de ce Congrès qui sera déposé au Secrétariat.

Le Comité a désigné comme délégués de la Société à ce Congrès MM. J. Fleury, de Koning, de Coëne, Pillet et Coiseau.

M. le Président annonce également qu'il y aura à Milan, en septembre-octobre 1894, un Congrès des accidents du travail.

Le Comité a nommé comme délégués de la Société MM. Gruner, S. Perissé, Mantegazza et Mamy.

M. le Président a le plaisir d'annoncer à la Société que MM. Lechner, Trélat et Cacheux ont accepté de représenter la Société au Congrès d'hygiène et de démographie qui se tiendra à Buda-Pest au mois de septembre 1894.

M. le Président a reçu de M. Honoré, membre de la Société, une lettre par laquelle notre collègue annonce que l'Administration des Magasins du Louvre, à la tête de laquelle il se trouve, a ouvert un concours pour un projet de lampe à pétrole.

Il y a trois prix de 1 500, 1 000 et 500 *f*. Le programme du concours est déposé au Secrétariat de la Société.

M. Honoré pense que la Société ne peut que voir avec plaisir des concours qui ont pour but de pousser à l'application de l'art à l'industrie et d'encourager les efforts faits dans cette voie.

M. le Président a également reçu de M. Berlier une lettre par laquelle il invite ses collègues de la Société à visiter les importants travaux qu'il exécute en ce moment pour la création du siphon de Clichy-Asnières. Il y a là des travaux intéressants et nouveaux, exécutés à l'aide d'un bouclier et de nature à intéresser les membres de la Société.

Des cartes d'invitation sont déposées au Secrétariat de la Société : on doit se présenter à l'usine le vendredi, de 9 h. 1/2 à 10 heures, quatre personnes seulement par vendredi, à cause des difficultés de la descente.

M. A. Lavezzari demande à compléter ce qui vient d'être dit au sujet de l'invitation de M. Berlier.

Il lui a fait remarquer que les membres de la Société, au lieu de venir isolément, préféreraient peut-être qu'une visite collective fût spécialement organisée pour eux. A sa demande, M. Berlier est disposé à recevoir simultanément douze collègues à un jour qui lui serait désigné par la Société, autre que le vendredi, mais pas plus de douze à la fois, faute d'espace.

Les membres qui désirent faire cette visite n'auront qu'à s'inscrire au Secrétariat, on les avisera ultérieurement de la date choisie, d'accord avec M. Berlier.

M. le Président remercie M. Berlier de son invitation et M. Lavezzari de la démarche qu'il a faite pour faciliter la visite par les membres de la Société des travaux du siphon de Clichy.

M. le Président annonce que, par suite des nombreuses communications qui sont à l'ordre du jour de la Société, le Comité a décidé qu'il y aura une séance supplémentaire le 9 mars.

M. le Président donne ensuite la parole à M. P. Merveilleux du Vignaux pour la fin de sa communication sur l'*Artillerie à tir rapide.*

M. M. du Vignaux résume brièvement, tout d'abord, ce qu'il a dit à ce sujet à la dernière séance et remercie la Société d'avoir bien voulu, malgré son ordre du jour très chargé, lui consacrer une seconde séance ; il pourra ainsi développer plus complètement son sujet devant la Société.

M. M. du Vignaux justifie d'abord le choix du sujet spécial qui fait l'objet de sa communication par l'importance qu'ont prises, dans ces derniers temps, les questions de matériel de guerre au point de vue industriel et par ce fait que presque tous les élèves sortant des Ecoles spéciales sont appelés à devenir officiers d'artillerie.

L'étude du matériel de campagne à tir rapide est trop peu avancée pour qu'il soit possible de traiter cette question ; du reste, aucune Puissance n'a trouvé jusqu'ici que le problème fût suffisamment résolu pour prendre la responsabilité d'une transformation complète de son artillerie de campagne. En France, on s'en tient à l'artillerie de Bange.

Pour le matériel de bord, la solution est beaucoup plus satisfaisante. Le canon a subi des transformations complètes ; ce qui caractérise actuellement les bouches à feu, c'est la grande longueur d'âme, la vitesse, la puissance, la réduction du calibre qui entraîne une grande diminution de poids, point d'une très grande importance pour l'armement des navires.

Ainsi le canon Canet de 32 *cm* de 40 calibres, qui figurait à l'Exposition de 1889, perçait à la bouche une plaque de 1,20 *m* d'épaisseur de fer forgé ; il ne pesait que 66 *t* et avait, avec un calibre et un poids moindres, la même puissance que les canons Armstrong et Krupp de 110 et 120 *t*.

Les nouvelles tourelles, qui ont une grande importance pour l'installation à bord de l'artillerie, sont caractérisées par le chargement central dans toutes les positions, l'équilibrage, les manœuvres électriques et à la main se substituant aux manœuvres hydrauliques et surtout une grande simplicité, qui succède à une trop grande complication des organes; c'est à cette simplification qu'on doit s'attacher d'une façon toute particulière, lorsqu'il s'agit de matériel de guerre.

Les problèmes d'artillerie présentent des difficultés spéciales par suite de l'instantanéité des efforts et de la divergence entre les données de la théorie et les résultats de la pratique.

Le matériel doit être à la fois ajusté au 1/100 de millimètre et très robuste pour pouvoir résister aux actions atmosphériques, aux traitements un peu rudes des matelots. Il faut qu'un matériel ait été longuement expérimenté pour qu'on soit fixé sur sa valeur. C'est ce qui doit rendre indulgent vis-à-vis de ceux qui ont la lourde tâche de tenir nos armements à la hauteur des progrès qui se réalisent chaque jour.

L'artillerie la plus intéressante est l'artillerie à tir rapide dont le développement date de l'invention des poudres sans fumée. On a d'abord fait usage de mitrailleuses et de canons de très petit calibre et on est arrivé à des calibres plus élevés de 10, 12, 15 et 16 *cm* ; les exigences nouvelles de la tactique navale, les vitesses toujours croissantes des torpilleurs (on atteint actuellement 26 et 27 nœuds) ont rendu nécessaire l'augmentation de la puissance de l'artillerie à tir rapide.

Parmi les systèmes expérimentés et ayant fait leurs preuves dans les marines de guerre, trois types sont en présence : le système Armstrong, le système Krupp et le système Canet; il ne peut être question des systèmes très nombreux qui ont été construits à un ou deux exemplaires, qui n'ont subi que des épreuves de polygones, ne sont pas en service à bord et n'ont été adoptés par aucune Puissance.

M. M. du Vignaux donne ensuite quelques indications sur le matériel Armstrong, le premier en date, et sur le matériel Krupp muni de la fermeture à coin.

Le matériel Canet, en service dans la marine française, dans la marine chilienne et adopté par la marine russe, a fait plus particulièrement l'objet de la communication de M. M. du Vignaux.

Il est construit aux Forges et Chantiers de la Méditerranée, au Havre.

Les premiers projets datent de 1887 et 1888 ; M. Canet fabriqua dès le début des canons ayant 45 et 50 calibres. Trois types de 10, 12,15 *cm* figuraient à l'Exposition de 1889 ; le canon était formé d'éléments simples, la culasse était à vis d'abord tronconique, puis cylindrique. On admit immédiatement le principe de l'ouverture de la culasse par un seul mouvement. Différentes solutions furent étudiées. Entre autres, la vis à filets hélicoïdaux, puis la fermeture actuelle avec pignon d'angle et

manœuvre par un seul mouvement au moyen d'un levier mobile dans un plan horizontal.

On renonça, après essais, à l'ouverture automatique de la culasse. L'extraction des douilles se fait lentement, car la projection violente peut abimer ces douilles et blesser les servants. Pour les affûts, qui, dans l'artillerie à tir rapide, doivent former avec le canon un ensemble parfaitement défini, on cherche à avoir une ligne de mire ne participant pas au recul du canon; c'est ce qui conduisit à renoncer aux affûts à châssis incliné qui avaient été en usage jusque-là.

Au moment de l'Exposition, trois types d'affûts furent construits, pour se rendre compte de la disposition qui convenait le mieux pour l'artillerie à tir rapide : l'affût de 15 *cm* à châssis horizontal et à manœuvre électrique, l'affût de 12 *cm* à berceau et à châssis oscillant; dans l'affût de 10 *cm* le canon reculait dans un manchon et formait lui-même piston de frein.

Après des essais faits au polygone de Sevran-Livry et au polygone des Forges et Chantiers de la Méditerranée, l'affût de 12 *cm* à châssis oscillant servit de prototype aux affûts à tir rapide. Cet affût était muni d'un récupérateur à ressorts pour le retour en batterie; le pointeur était placé sur le côté et avait à sa disposition les manivelles de commande.

Enfin, les douilles ont fait l'objet d'études spéciales et ont subi d'importantes modifications depuis l'origine.

Les vitesses obtenues en 1890 et 1891 atteignaient 800 et même 880 *m*; les bouches à feu furent essayées aux pressions de 3 000 et 3 500 *kg* par centimètre carré, ce qui prouvait la résistance considérable de ces canons.

L'accueil fait aux canons à tir rapide fut assez froid; le principe même du tir rapide, la longueur des canons qui, disait-on, devait exposer à des flexions permanentes étaient fortement critiqués. Du reste, un matériel n'est jamais à l'abri de critiques, même justifiées; tout dépend de la façon dont le problème est posé.

Il y avait là néanmoins, dit M. M. du Vignaux, des résultats très importants déjà acquis, qui ont conduit au type actuel.

Le canon Canet a été porté à la longueur de 80 calibres; les expériences faites avec des canons de 57 *mm* et de 10 *cm* ont montré que les volées se comportaient parfaitement. La vitesse atteinte, il y a deux ans déjà, pour le 57 *mm* a été de 1 013 *m* avec un projectile de 2,700 *kg*, et 1 026 *m* pour le 10 *cm* avec un projectile de 13 *kg*.

La vis de culasse a reçu des dispositifs de sécurité s'opposant à la mise de feu avant la fermeture complète, au dévirage et à l'ouverture prématurée en cas de long feu. Les appareils de mise de feu ont été mis sous la main du pointeur.

Le frein est du type à contre-tige centrale, qui donne une pression constante dans les cylindres et, par conséquent, une grande régularité d'effort sur les ponts.

Les canons tirent des projectiles de rupture en acier, des obus ordinaires en fonte, des shrapnels, des projectiles à explosifs puissants. Les projectiles sont montés à l'extrémité de douilles qui contiennent à l'intérieur la poudre sans fumée arrimée sous forme de petits fagots et sur

le culot une amorce à percussion qui se visse au dernier moment et qui peut être remplacée par une autre en cas de raté. Pour les 15 *cm*, la douille, charge et projectile pèsent 66 *kg*, ce qui est un poids considérable à manœuvrer, même avec deux hommes.

Les considérations balistiques montrent l'intérêt considérable qu'il y a à réaliser de fortes vitesses initiales. Les zones dangereuses sont plus grandes, la trajectoire plus tendue, ce qui donne plus de précision au tir. On cherche à tirer de but en blanc. Il faut donc, même au prix d'une augmentation de la longueur du canon et d'une diminution du poids du projectile, dans les limites raisonnables, augmenter cette vitesse.

C'est, en somme, M. G. Canet qui, le premier, s'est engagé dans cette voie et cette augmentation de vitesse a toujours été son objectif.

L'application du canon à tir rapide a été faite également à l'armement des côtes.

La rapidité de tir, qui résulte de causes très diverses, a atteint dix et même douze coups par minute, mais en service, et lorsqu'on vise avec soin, cinq à six coups peuvent être considérés comme maximum.

M. M. du Vignaux dit quelques mots de l'usure des canons et des érosions qui se produisent dans l'âme et qui sont dues non pas à une action chimique, mais aux actions calorifiques et surtout mécaniques des gaz à haute pression. Ces érosions sont très sensibles avec les poudres à la nitro-glycérine, même au bout de quelques coups.

M. M. du Vignaux fait remarquer en terminant que le développement pris par l'artillerie à tir rapide n'est pas dû seulement aux artilleurs proprement dits, il doit être attribué aussi à l'invention de la poudre sans fumée par M. Vieille. Il a été favorisé également par l'emploi d'appareils enregistreurs qui ont permis d'étudier méthodiquement tous les phénomènes du tir : pression, au moyen des crushers ; vitesse du projectile, au moyen des chronographes Leboulengé-Bréger ; vitesse de recul du canon et pression dans les freins, au moyen du vélocimètre de M. le général Sébert.

En dehors de la difficulté technique, les industriels français se sont heurtés à des difficultés de toutes sortes ; ils n'ont du reste la liberté de fabriquer des armes de guerre que depuis la loi de 1885 ; ils ont eu à lutter contre une concurrence terrible, faite par les Anglais et les Allemands qui jouissaient à ce moment des avantages dus à une situation acquise. Ils n'ont pas toujours trouvé, ajoute M. M. du Vignaux, auprès de l'État, un très ferme appui ; mais, grâce à quelques officiers aux idées larges, cette situation s'est modifiée.

Il y a lieu de signaler aussi les efforts faits par le Creusot, Saint-Chamond, Cail, en vue de développer l'industrie du matériel de guerre.

On doit favoriser le développement de l'industrie des armes de guerre et leur exportation à l'étranger : c'est une source de richesse pour le pays, une occasion d'accroitre la puissance de l'outillage dont l'État est le premier à bénéficier ; c'est un moyen d'augmenter le prestige national. Il ne serait donc pas juste que cette industrie fût frappée d'un certain ostracisme ; les industriels tiennent désormais une place trop importante dans toutes les questions intéressant la défense nationale.

M. M. du Vignaux est heureux, en terminant, de constater que les Anglais ont, récemment encore, rendu hommage à l'esprit de méthode des Ingénieurs français qui ont triomphé des difficultés considérables qu'ils ont rencontrées sur leur route ; la collaboration constante entre cette industrie et les corps de l'État ne peut avoir, sous le rapport de la puissance militaire, qu'une influence extrêmement salutaire au point de vue des intérêts du pays. *(Applaudissements.)*

M. le Président se fait l'interprète de la Société pour remercier M. M. du Vignaux de sa communication très intéressante et très savante, développée avec un véritable talent d'exposition.

Les Ingénieurs civils sont rarement appelés à s'occuper de la construction d'armes de guerre; mais notre collègue, M. Canet, s'est chargé de les étudier et a su résoudre les problèmes les plus difficiles qui pouvaient se présenter. C'est pour lui un très grand honneur et cet honneur rejaillit en partie sur la Société des Ingénieurs Civils tout entière. *(Vifs applaudissements.)*

M. Canet dit qu'il remercie M. le Président des paroles trop élogieuses, d'après lui, qui viennent de lui être adressées à l'occasion de la communication de M. M. du Vignaux.

Il ajoute que quelques-uns de nos collègues lui ayant laissé entendre que cette communication était inspirée par lui, il tient avant tout à déclarer que toute latitude a été laissée à M. du Vignaux pour son étude et que lui-même n'en a eu connaissance qu'à la dernière séance en même temps que les Membres de la Société.

C'est donc un travail absolument personnel, que chacun est libre d'approuver ou de critiquer, et qui n'engage que notre collègue.

M. Canet ne partage pas certaines opinions émises par M. M. du Vignaux, mais il ne discutera pas sa communication ; toutefois il tient à la rectifier sur un point particulier. C'est que les appareils si ingénieux de M. le général Sébert permettent d'analyser les phénomènes qui passent dans les canons au dix-millième de seconde, et ceux relatifs au recul des affûts au millième de seconde et non pas au centième, comme il a été dit. C'est là un résultat qui mérite d'être signalé.

M. M. du Vignaux demande à ajouter un mot pour répondre à des objections qui lui ont été présentées en conversation à la suite de la précédente séance.

On lui a dit que la douille devait être très chaude après le tir et qu'en faisant l'extraction les hommes devaient se brûler les mains. Il convient de remarquer d'abord que les hommes ont les mains protégées par des gants et, ensuite, que le culot de la douille est beaucoup moins chaud au moment où le coup vient de partir que quelques instants après; en outre, c'est surtout vers le milieu que les douilles sont le plus chaudes. Il n'y a donc rien à craindre et, en fait, la manutention se fait très bien.

On a dit aussi qu'on ne voyait pas l'intérêt à employer le chargement par douilles en supprimant les obturateurs plastiques. Or, lorsqu'on veut employer l'obturateur ordinaire il faut introduire d'abord le pro-

jectile, puis le refouler, introduire ensuite la charge, enlever l'amorce du coup précédent, puis remettre une nouvelle amorce, toutes opérations très longues ; tandis que par l'usage de douilles on introduit la cartouche comme une cartouche de fusil, l'étoupille se trouvant sur le culot de la douille. Donc, pas de changement d'amorce et introduction d'un seul coup du projectile et de la charge; de là une rapidité qu'on ne pourrait obtenir sans l'emploi de douilles.

M. L.-J.-M. Limet demande à insister sur l'utilité de l'emploi des douilles. Avec l'ancien canon de marine on employait l'étoupille dite obturatrice qui nécesitait la fermeture d'un verrou ; par suite, il fallait faire la charge en quatre temps au lieu de trois.

En dehors de cela, la longueur des canons et la tension des trajectoires est d'autant plus intéressante que, à l'heure actuelle, on emploie des projectiles de grande capacité à mélinite. On a reconnu qu'ils suffisent pour produire les effets des torpilles à 8 *m* de distance maxima audessous de la ligne de flottaison du navire. Donc, en tirant soit en chasse, soit en retraite, le projectile éclatant dans ces conditions peut mettre le navire hors de combat, la tension de la trajectoire supprime les causes d'écarts en direction trop grands pour obtenir ces effets.

Personne ne demandant plus la parole, la discussion est close.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. V.-J. Lafrance et Ch.-H. Perrin, comme membres sociétaires.

MM. M. Roussel et E.-F. Sautter sont reçus membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

PERCEMENT DES TUNNELS

DANS LES

TERRAINS MOUS, FLUENTS OU TRÈS ÉBOULEUX

(Méthode Sokolowski)

PAR

M. H. COURIOT

Les terrains mous, fluents ou ébouleux opposent, chacun le sait, des difficultés très sérieuses au percement des tunnels, tels sont certains *sables boulants* aquifères, d'une grande mobilité, la craie fissurée dans laquelle la présence de l'eau circulant à travers les fractures, finit par désagréger la roche et lui donner le caractère fluent, les argiles, enfin, notamment, l'argile plastique, qui gonfle, se détrempe et se désagrège sous l'action des agents atmosphériques; ces roches, plus ou moins pénétrées par l'eau, s'éboulent et envahissent les chantiers par des apports sans cesse renouvelés, des vides se forment en arrière du soutènement provisoire, il n'y a plus équilibre entre les poussées latérales, des glissements se produisent alors sur les surfaces fluentes et affouillées, les masses en mouvement tombent brusquement sur le revêtement provisoire, elles peuvent déterminer son renversement et provoquer un véritable désastre.

Examen critique des Méthodes actuellement employées. — De nombreuses méthodes ont été proposées et appliquées avec succès pour la traversée de ces terrains difficiles, et il paraît bon de précéder l'exposé qui sera fait ultérieurement de la méthode conçue par M. Sokolowski d'un examen critique des divers procédés employés jusqu'à ce jour dans l'exécution des tunnels au sein des terrains très ébouleux. Cette étude n'est pas sans intérêt, elle conduit, en effet, à la recherche des conditions que doit remplir une méthode rationnelle, conditions dont doit se dégager cette méthode elle-même.

Parmi les diverses méthodes auxquelles on a eu recours jusqu'à ce jour et, sans s'arrêter aux détails ni aux variantes d'exécution, il convient de retenir la *Méthode française*, qui procède par une série d'opérations pouvant se résumer dans les suivantes :

Ouverture d'une galerie de faite, suivie d'un élargissement de part et d'autre de cette dernière procurant la section totale de la calotte ;

Creusement de deux cunettes latérales pour l'implantation des piédroits et construction dans ces cunettes d'un revêtement en maçonnerie

correspondant aux piédroits sur lesquels on édifiera ultérieurement la voûte.

Enfin, dépilage du stross central et construction d'un radier maçonné.

Cette méthode offre l'avantage d'opérer par sections réduites, limitées par suite, et que des boisages simples peuvent soutenir aisément ; elle permet de commencer le revêtement en maçonnerie par les piédroits, mais elle présente les inconvénients suivants :

Nécessité d'épuiser les eaux dans les cunettes latérales ; impossibilité de construire le radier avant les piédroits pour éviter le rapprochement de ces derniers sous l'effet des pressions des parois ; encombrement des cunettes par les déblais et les matériaux, diminuant le rendement des ouvriers ; soutènement provisoire prenant ses points d'appui sur un stross mou et inconsistant.

La *Méthode allemande* opère également par sections réduites, faciles à soutenir au moyen d'un boisage peu coûteux ; elle procède par deux galeries de base dans lesquelles on construit les piédroits, on ouvre ensuite en arrière une galerie de couronne qui se trouve ainsi en retraite sur les précédentes et on se procure l'évidement de la calotte par un double élargissement latéral, qui permet de maçonner la voûte et que suivent l'enlèvement du noyau central du stross et la construction du radier. Les inconvénients sont les mêmes : Obstruction des galeries latérales ; nécessité de porter la largeur de l'excavation à 9 ou 10 *m* pour réserver au stross central, plus ou moins fluent, qui devra soutenir les boisages et les cintres de la voûte, un massif suffisant pour résister aux pressions qu'il aura à supporter ; largeur que réclame encore l'obligation de loger dans l'excavation l'épaisseur des piédroits ainsi que les deux voies de service dont l'active circulation exige des dimensions notables.

Il ne faut pas oublier, en effet, qu'un tunnel pour ligne à double voie, exécuté dans ces conditions, demande l'excavation de 65 m^3 de roches par 1 *m* d'avancement, donnant avec le foisonnement 100 m^3 de déblais à charger et à conduire au dehors et qu'il réclame enfin un apport de 12 à 15 m^3 de matériaux divers pour le soutènement provisoire et le revêtement définitif.

Ce mouvement intense dans les galeries inférieures, l'encombrement qui en est la conséquence et la gêne qu'il entraîne pour les maçons occupés au muraillement, ont fait abandonner cette méthode depuis une vingtaine d'années déjà.

Il n'y a pas lieu de s'arrêter ici à l'étude de la *Méthode belge*, dans laquelle la calotte de la voûte est construite tout d'abord sur le terrain et reprise ultérieurement en sous-œuvre, puisque, *a priori*, les roches ne présentent pas une solidité suffisante pour permettre de supporter la voûte sans affaissement ; cette méthode, la plus généralement employée dans les terrains solides et dans les roches de consistance moyenne, doit être, en effet, écartée dans les terrains de nature ébouleuse.

Passant à l'examen des méthodes opérant à section entière, la *Méthode anglaise* et le *procédé Rziha*, il convient de remarquer que dans ces deux méthodes on excave, en une seule fois, la totalité de la section, ce qui exige l'emploi d'un boisage ou d'un blindage d'une grande importance, dont le déplacement et l'avancement occasionnent des pertes

de temps notables ; ces deux méthodes ont enfin l'inconvénient d'enfermer dans un chantier unique les mineurs et les maçons, qui se gênent les uns les autres dans leurs travaux respectifs, toutefois elles facilitent l'enlèvement des déblais, lancés de haut en bas dans les wagons destinés à les recevoir, elles assurent l'invariabilité de la voie ou des voies de service qui peuvent suivre de très près le front de taille, protégé par son puissant bouclier, elles permettent l'écoulement naturel des eaux d'infiltration par la cuvette du radier et l'exécution de la maçonnerie par anneaux complets, en commençant, si on le veut, par le radier qui, par sa présence, viendra arc-bouter les piédroits.

Dans le *procédé Rziha* on a recours à l'emploi de deux cintres métalliques concentriques, dont l'un extérieur, supporte le blindage des parois, l'autre intérieur servant tout d'abord de point d'appui au premier, reçoit ultérieurement les couchis sur lesquels s'exécutera le revêtement de maçonnerie ; par cette méthode on assure le maintien des terrains, puis le soutènement de la voûte pendant la prise de la maçonnerie plus simplement, plus sûrement, et plus puissamment que dans la méthode anglaise.

Il résulte de ce qui précède que toutes les méthodes qui viennent d'être passées en revue ont leurs inconvénients et leurs avantages particuliers ; il reste à examiner la *Méthode autrichienne* qui constitue un procédé mixte entre l'exécution à section divisée et l'opération à section entière, en ce que l'excavation est obtenue en procédant par sections réduites et échelonnées, si l'on veut, alors que le revêtement s'exécute par anneaux complets, mais avec cette ressource de pouvoir commencer par le radier pour assurer l'invariabilité de l'implantation des piédroits.

La méthode peut se résumer de la façon suivante :

1° Percement d'une galerie de base dans l'axe du profil ;

2° Ouverture d'une galerie au clavage en retard sur la précédente ;

3° Approfondissement de cette galerie jusqu'au plafond de la galerie inférieure ;

4° Élargissement latéral de part et d'autre de la galerie de faite, pour obtenir l'excavation de la calotte ;

5° Battage au large à droite et à gauche de la galerie de base pour se procurer l'emplacement des piédroits ;

6° Construction du muraillement par anneau complet en commençant à volonté par le radier ou par les piédroits.

On voit que cette méthode réunit bien les avantages des diverses méthodes précédentes : chantiers échelonnés dans certains cas favorables, attaque et soutènement provisoire fractionnés, revêtement définitif exécuté par anneau complet en commençant dans les conditions les plus convenables pour obtenir l'invariabilité des piédroits ; mais on peut lui reprocher le volume et le prix de son soutènement provisoire qui constitue un véritable travail de charpente, coûteux et encombrant, chacune des pièces de boisage concourant au soutènement des excavations partielles, puis au revêtement provisoire de la section entière, ce qui entraine un repérage exact de tous les éléments de la charpente et une certaine complication dans l'appareil ; enfin les poteaux des cadres placés au centre de l'excavation reçoivent les pressions latérales exercées

par les parois, aussi travaillent-ils à la flexion, c'est-à-dire dans des conditions défectueuses.

Quelquefois on est conduit à laisser sur bois pendant un certain temps, une grande partie de la section avant de pouvoir élever le muraillement, alors qu'il y a intérêt à ne pas laisser aux terrains le temps de se mettre en mouvement et de faire naître, dans leur glissement, des poussées latérales pouvant renverser le boisage.

Méthode Sokolowski. — La méthode préconisée par M. Sokolowski a pour but de répondre aux exigences et conditions formulées au cours de cette étude critique des procédés suivis actuellement, en cherchant à porter remède aux inconvénients signalés.

L'objectif poursuivi peut se résumer de la manière suivante :

Procéder à section divisée, pour n'avoir à soutenir que des excavations partielles, les frais de boisage croissant avec l'importance du vide à soutenir; d'autre part, ces frais augmentant avec la durée du soutènement et l'inconsistance des roches, il convient de laisser le terrain à découvert et sur bois le moins longtemps possible; on évitera ainsi l'action destructive de l'eau et de l'air et les mouvements qui en sont la conséquence; à cet effet, le muraillement doit suivre de très près le percement et l'ouverture des excavations.

Quand les poussées latérales sont hors de proportion avec la stabilité des piédroits qui fonctionnent comme soutènement avant la construction de la voûte, il y a lieu de s'opposer au rapprochement des piédroits en construisant le radier avant ceux-ci.

A ces divers avantages doivent s'ajouter ceux que produiront une organisation rationnelle et indépendante des chantiers, la faculté de proportionner ceux-ci aux circonstances variables et aux difficultés plus ou moins grandes qu'offriront les terrains à traverser, le chargement et l'enlèvement facile des déblais, s'opérant sans gêner le bardage des matériaux, la simplicité, enfin, du boisage et la possibilité de réemployer les gros bois.

Pour arriver à se rapprocher de ces *desiderata*, M. Sokolowski propose d'opérer de la manière suivante, en deux périodes (*Pl. 96*) :

Première période. — 1° Ouverture d'une galerie inférieure approfondie jusqu'à la base du profil (I, II) *(fig. 2)*.

2° Construction de la partie centrale du radier (1) *(fig. 1)*.

3° Élargissement en cunette de la galerie inférieure (III, III) *(fig. 2)*.

4° Terminaison du radier et érection des piédroits jusqu'aux naissances des voûtes (2, 2) *(fig. 1)*.

Seconde période. — 5° Percement d'une galerie de faîte comprenant le clavage de la voûte et en retrait sur la galerie inférieure (IV) *(fig. 2)*.

6° Approfondissement de cette galerie jusqu'au plafond de la galerie inférieure (V) *(fig. 2)*.

7° Abatages latéraux de part et d'autre de la galerie supérieure approfondie, procurant l'excavation de la calotte (VI, VI) *(fig. 2)*.

8° Construction de la voûte (3, 3, 4) *(fig. 1)*.

Détails d'exécution. — La figure 3 représente les dispositions prises à

la tête du souterrain pour l'entrée en galerie, afin de diminuer les chances de glissement du talus. A cet effet, il est prudent de ménager des rigoles *rr*, en amont des galeries projetées, pour détourner les eaux pluviales, de se débarrasser, par un fossé transversal, disposé sur la crête de la tranchée, de toutes les eaux de surface et de capter les sources qui pourraient être rencontrées dans le talus.

Si on redoute des mouvements du talus, par suite de l'inconsistance du terrain, il faut consolider ce dernier, avant toute excavation, en le soutenant ou moyen de cadres, reportant les pressions en avant du pied du talus.

La décharge de la galerie supérieure se fait sur un plan incliné *p*, un plancher en madriers *m*, placé au bas, arrête les déblais qui peuvent être facilement chargés en wagon, à ce niveau intermédiaire.

Première période. — La galerie inférieure est creusée au *poussage*, c'est-à-dire en chassant des palplanches divergentes autour d'un cadre constitué par des bois de 0,22 *m* environ, ces cadres étant distants normalement de 1 *m*, à moins que la poussée excessive des terres n'oblige à les rapprocher davantage ; le front de taille est soutenu par un bouclier démontable que des vérins et des poussards permettent d'immobiliser ou de démonter par parties. Ce bouclier frontal, qui ne présente rien de particulier et qui sera quelquefois simplement installé derrière des poteaux provisoires *qq* (*fig. 9*), se retrouvera dans tous les chantiers, progressant perpendiculairement à l'axe du souterrain, et nous n'en parlerons plus.

L'approfondissement de la galerie inférieure jusqu'au niveau de l'extrados du radier (*fig. 5*) entraîne le remplacement des montants des cadres primitifs *n* par des poteaux de fond S; deux vérins V permettent de soutenir les chapeaux des cadres et le garnissage des parois pendant cette substitution.

On peut alors construire la cuvette du radier entre ces poteaux (*fig. 6-7*), puis on montera, entre le parement du radier et le cadre préexistant, le chevalement inférieur formé d'un solide boisage reposant sur une semelle *u* partant des sabots *t* et des cales inférieures ; ce chevalement va servir de point d'appui à tout le soutènement provisoire, il doit donc être monté avec le plus grand soin.

Dans l'élargissement en cunette (*fig. 8-9*), on sera conduit à poser latéralement quatre longrines de flanc soutenues par un boisage en éventail, derrière ces longrines on pourra chasser les palplanches découpant le massif à abattre; la première longrine de flanc sera arcboutée tout d'abord par une contrefiche X, puis par un potelet reposant sur le terrain et en dernier lieu, comme les autres, au moyen d'étançons reposant en éventail sur les sabots *t* de la semelle du chevalement. Entre la deuxième longrine de flanc et la troisième, le garnissage est formé de planches placées horizontalement et maintenues par des pargues transversales butées par des étançons provisoires VV, qu'on peut enlever dès la pose de la troisième longrine. Des palplanches chassées de haut en bas permettent l'approfondissement de la fouille derrière les longrines 3 et 4 et la construction intérieure du revêtement

de maçonnerie correspondant, c'est-à-dire la terminaison du radier et l'érection des piédroits (*fig. 10*) après enlèvement des poteaux de fond du cadre extérieur au chevalement. Pendant la construction des piédroits on a la ressource de maintenir la troisième longrine de flanc par l'entremise d'étais *y*.

C'est à ce moment que l'on peut redouter, avec des poussées notables des parois, le rapprochement des piédroits avant l'achèvement de la voûte ; si ces pressions sont à prévoir (*fig. 11*), on arc-boutera les deux piédroits au moyen de forts tendards *T* dont les abouts se caleront contre des madriers *m*, en outre des étais Z contre-bouteront le chevalement. Cet étaiement permettra d'attendre le moment où la voûte en maçonnerie solidarisera les piédroits et s'opposera à tout mouvement de leur part.

Seconde période. — La seconde période du travail débute par l'ouverture de la galerie de couronne (*fig. 12*), percée au poussage comme la galerie de base, derrière des cadres, distants de 1 *m* environ d'axe en axe. Les montants *b* de ces cadres sont exactement verticaux et à l'aplomb des longrines du chevalement inférieur sur lesquelles ils doivent s'appuyer, mais ils tombent à environ 20 *cm* des poteaux du chevalement inférieur, de façon que les poteaux des grands chevalements supérieurs, qui leur seront substitués, se trouvent eux-mêmes en coïncidence avec les poteaux des chevalements inférieurs.

On reprendra en sous-œuvre ces montants *b* pour les appuyer, après l'approfondissement de la galerie de couronne, sur des poteaux *d* succédant à des potelets *c*, placés en cours de travail (*fig. 13*), et pendant cette opération, on soutiendra le garnissage au moyen de vérins, comme on l'a pratiqué pour l'approfondissement de la galerie de base.

On peut alors poser le chevalement supérieur (*fig. 14*), ses poteaux *e* ont le même écartement à la base que les poteaux du chevalement inférieur, à savoir 2 *m* d'axe en axe, des semelles *f* qu'on substitue aux chapeaux *o*, servent à les recevoir ; on dispose à l'avance sous les semelles des chantignoles *g* en chêne et on place des taquets d'attente *h* sur les faces latérales extérieures des poteaux du chevalement, pièces dont le rôle sera bientôt expliqué.

L'élargissement de la galerie de couronne par des abatages latéraux se fera dans des conditions d'autant plus faciles et plus rapides que le terrain est comme souscavé par les travaux de la première période ; il s'exécutera à l'abri d'un garnissage qui, entre la longrine de couronne et la première longrine de flanc, peut être obtenu au moyen de planches reposant directement sur ces deux longrines (*fig. 15*, côté gauche), ou encore, en disposant sur les chapeaux *a* des perches *i* destinées à recevoir, avec la première longrine de flanc, un doublage derrière lequel on enfilera horizontalement le garnissage de planches (*fig. 15*, côté droit). Ce dernier mode de soutènement accroît, il est vrai, quelque peu le travail, mais donne des facilités plus grandes pour l'achèvement de l'excavation et pour l'exécution de la chape sur ce point important de la voûte, et peut éviter des relevages de couronne.

L'excavation de la calotte va pouvoir se poursuivre facilement, mais, avant de reporter les poussées des parois sur les sabots *k* au moyen des

contrefiches *m*, *n*, *o*, on aura soin *(fig. 16)* de remplacer les buttes Z *(fig. 13 à 15)* par des buttes jumelles J *(fig. 16)*, coincées solidement sous les chantignoles *g*.

L'élargissement sera obtenu derrière des palplanches, chassées de haut en bas, à l'extérieur des longrines de flanc 1, 2, 3, 4 ; des potelets permettront de prendre des points d'appui intermédiaires sur le terrain, avant la pose des contrefiches.

Le profil de la calotte étant obtenu, on construira intérieurement les naissances de la voûte en élevant les matériaux au niveau d'un plancher intermédiaire reposant sur les semelles *f* au moyen d'un monte-charge sur chariot, disposé à l'origine du chantier.

On installera alors les cintres en ayant soin de les caler à la partie supérieure au moyen de potelets P contre les longrines de couronne *(fig. 18-19)*, afin d'éviter le relèvement de leur sommet sous l'effet des poussées latérales du terrain, accrues du poids de la maçonnerie des reins de la voûte. Les cintres *(fig. 22)* sont espacés de deux en deux mètres, ils reçoivent les couchis présentant des entailles de 0,010 *m* de profondeur pour les mieux assujettir, en leur faisant épouser le profil des ailes supérieures des I qui constituent les cintres. Ces cintres sont des fers I de 160 *mm*, du poids de 34,5 *kg* le mètre courant ; 4 tirants *t* s'opposent à leur déversement ; leur abaissement pour le décintrement est prévu de 0,100 *m*.

On enlève successivement les longrines de flanc, puis on démonte ensuite le chevalement, c'est-à-dire dès que la première longrine de flanc se trouve avoir été enlevée, pour faire place au muraillement, car alors la contrefiche (2) devient inutile ainsi que le chevalement qui ne sert plus qu'à la soutenir. On peut à ce moment maçonner la voûte jusqu'au potelet P *(fig. 19)*, ce qui permet, par suite, d'enlever les longrines de couronne et les chapeaux *a*; cependant, pour soutenir le garnissage de la couronne pendant le clavage, on dispose, sous ce garnissage, de faux chapeaux en fortes planches ou en petits rondins, que l'on maintient au moyen d'une longrine, dite de clavage S, que de petits buttons *t* calent contre les cintres *(fig. 19)*.

Le massif de maçonnerie formant clavage de la voûte s'exécute sur couchis-coulisseaux, en battant en retraite dans l'axe du souterrain, la longrine de clavage S est retirée par tronçons en suivant la progression du travail. Il n'y a plus qu'à attendre la prise des maçonneries et à opérer le décintrement.

L'examen des figures 22 à 25 *(Pl. 97)*, dispense de plus longs détails concernant les cintres métalliques, le monte-charge roulant destiné à élever les matériaux de construction, au cours de la seconde période des travaux, sa cage, avec fermeture par l'essieu et ses taquets d'arrêt à relèvement, d'un système rappelant les taquets à corbeaux employés dans les exploitations minières.

Conclusions. — On est frappé de l'analogie que cette méthode présente avec la méthode autrichienne : comme elle, elle procède à section divisée, c'est-à-dire par excavations fractionnées, réduites et faciles à soutenir, mais elle a l'avantage sur la méthode autrichienne de limiter la

durée du boisage ; le revêtement en maçonnerie s'édifiant dans chaque partie de la section totale dès que l'excavation est terminée, à l'exception de la galerie (IV, V) *(fig. 2)*, supériorité qu'elle doit à ce que l'on ne procède à l'évidement de la calotte qu'après l'achèvement de tout le travail correspondant à la première période, alors que, dans la méthode autrichienne, on excave toute la calotte, avant de creuser les cunettes latérales, ce qui fait conserver sur bois la majeure partie de la section avant de pouvoir édifier le revêtement en maçonnerie.

L'écoulement des eaux d'infiltration s'effectue par la cuvette du radier, qui suit de très près l'avancement de la galerie inférieure, la majeure partie des déblais se charge de haut en bas, ce qui procure une économie notable.

La construction du radier précède celle des piédroits, au profit de leur bonne implantation.

Les piédroits peuvent être étayés directement sans s'appuyer sur un stross central plus ou moins inconsistant, cet étaiement peut se faire avant et jusqu'à la fin de la construction de la voûte, pour assurer la permanence de l'aplomb des piédroits.

Les ateliers de mineurs et de maçons sont parfaitement indépendants, la voie de service inférieure reste dans une position invariable pendant toute la durée des travaux.

La méthode présente enfin une certaine élasticité qui permet de limiter les opérations de percement et de maçonnerie à la longueur variable d'un anneau de revêtement, en opérant par exemple dans cet espace réduit les attaques II, III, puis V et VI *(fig. 2)* ou bien, au contraire, elle donne la possibilité de les échelonner sur une grande longueur sans nuire à l'organisation des chantiers, qui restent parfaitement indépendants.

La méthode préconisée par M. Sokolowski, bien qu'ayant l'inconvénient de deux reprises de galeries en sous-œuvre, qui paraissent pouvoir être évitées, et d'une notable consommation de bois, inséparable, il est vrai, du percement des tunnels dans les terrains ébouleux ou fluents, consommation qui se trouvera toutefois réduite par le réemploi de la majeure partie des gros bois, offre donc de sérieux avantages sur la plupart des méthodes employées jusqu'à ce jour et peut rendre aux constructeurs de grands services dans la traversée de ces terrains difficiles.

EXPÉRIENCES ET ÉTUDES

SUR LE

PASSAGE EN COURBE DU MATÉRIEL ROULANT

PAR

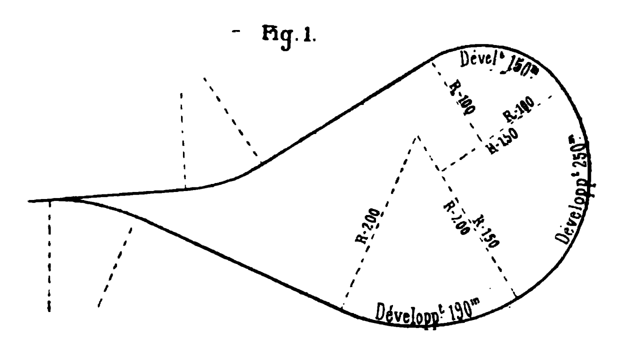
M. Edmond ROY

Dans le courant de l'année 1891, l'Administration supérieure du Ministère des Travaux publics institua une Commission dite des courbes, ayant pour mission de comparer entre eux les différents moyens appliqués par les grandes Compagnies de chemins de fer français à leur matériel roulant, pour faciliter le passage de ce matériel dans les courbes, et de les comparer avec du matériel ne comportant aucune disposition spéciale.

Ces expériences ne furent faites que sur des locomotives à essieux constamment parallèles : les unes avec faculté de déplacement longitudinal des essieux d'avant et d'arrière, sans orientation radiale réglée par ce déplacement ; les autres sans faculté de déplacement de ces essieux.

Le rapport de la Commission contenant les résultats, très détaillés, de ces expériences a été publié dans le fascicule de la neuvième question : *Passage dans les courbes*, du Congrès international des chemins de fer de Saint-Pétersbourg, en 1892.

Fig. 1.



Ces expériences furent faites sur une voie en forme de poire conforme au croquis ci-dessus (*fig. 1*) :

Cette voie était établie à Noisy-le-Sec sur une plate-forme horizontale.

Ces expériences furent faites successivement, avec la voie sans dévers, avec dévers de 0,080 *m*, puis de 0,160 *m*, à des vitesses variant de 20 à 35 *km* à l'heure.

Les résultats de ces expériences ont démontré que la faculté de simple déplacement longitudinal des essieux avant et arrière des locomotives ne présente aucun avantage, au point de vue du coefficient de résistance au passage dans les courbes, sur les locomotives dont les essieux avant et arrière n'avaient aucun déplacement.

La Commission fait observer, dans son rapport, qu'elle n'a pas eu à expérimenter de machine dont l'orientation radiale de l'essieu d'avant soit réglée par le déplacement longitudinal de l'essieu, tel que cela a lieu avec les boîtes Roy.

Cette observation est d'autant plus notable que les Compagnies du Nord et de l'Orléans en ont fait d'assez nombreuses applications, surtout l'Orléans qui a appliqué, depuis l'année 1885, des Boites-Roy à l'essieu d'avant des 10 locomotives, série 1801 à 1810, identiquement semblables aux locomotives 1817 et 1825, à déplacement longitudinal sans convergence, que cette Compagnie lui a présentées.

Sans entrer dans l'analyse des expériences de la Commission, il nous semble que ses conclusions expriment bien le sentiment que tout est pour le mieux dans le meilleur des mondes, car sa conclusion finale est :

« Les éléments à considérer, en ce qui concerne le matériel » roulant, sont la forme des bandages et l'éventualité du graissage » des boudins. On peut, en modifiant la forme usuelle des bandages, ou en graissant les boudins, obtenir des améliorations » sensibles : et cela n'entraîne pas la nécessité de toucher, autrement que par des détails très secondaires, à la construction du » matériel. Il est donc rationnel, en l'état actuel, de voir là des » améliorations à tenir en réserve, pour faire face aux éventualités et de ne les pas faire intervenir, *a priori*, dans la détermination des coefficients de compensation qui peuvent dès lors être » calculés en serrant de près les éléments dont on dispose. »

En conséquence, elle propose de réduire la déclivité dans les courbes relativement à celles admises en parties droites :

De 4 *mm* pour les courbes de 200 *m* de rayon ;

De 6 *mm* pour les courbes de 150 *m* de rayon.

La réduction des déclivités dans les courbes est chose beaucoup plus facile à recommander qu'à réaliser en pratique ; car c'est surtout en pays très accidentés que le besoin de l'emploi des courbes de petit rayon se fait sentir, et, quand un Ingénieur est serré de près, dans la rédaction de ses projets, pour franchir un faîte, même avec un souterrain, il ne lui est pas toujours loisible, surtout quand il n'y a entre les courbes que des alignements droits très courts, de modifier fréquemment la déclivité de son profil en long.

Je ne parlerai que pour mémoire du graissage des boudins, qui n'est, au pis aller, applicable qu'aux locomotives, pratiqué il y a bien des années en Autriche, abandonné ensuite; et repris provisoirement en France dans une application dont j'indiquerai plus loin le peu de succès sur une ligne à courbes de petits rayons (125 *m*).

Nous allons d'abord examiner ce que vaut la conicité des bandages.

En général, je ne le sais que trop, la plupart des Ingénieurs de chemins de fer croient à l'exactitude des théories et aux règles posées par feu M. Couche, dans son grand ouvrage sur les chemins de fer ; que la conicité des bandages et le surélargissement de la voie sont des moyens efficaces pour faciliter le passage en courbe du matériel roulant ordinaire. C'est une erreur accréditée depuis trop longtemps, quoique l'ayant toujours combattue ; pour que j'aie aujourd'hui la prétention de la faire disparaître immédiatement, mais qui disparaîtra, j'en ai l'assurance, quand les expériences que j'ai entreprises à ce sujet seront connues et auront été contrôlées avec le seul désir de s'éclairer.

Ces expériences sont très simples et peu dispendieuses à faire. Voici en quoi elles consistent :

Faire établir un tronçon de voie en courbes de 150 *m* de rayon avec un écartement de voie de 1,90 *m* à 2 *m* entre les rails ; faire établir une plate-forme métallique avec des fers plats, à 0,050 *m* en contre-bas des rails, de 0,60 *m* à 0,70 *m* de largeur de chaque côté de l'intérieur des rails, pour pouvoir faire rouler une voiture, bien montée, sur les boudins des roues, entre les rails, et alternativement un boudin de roue de chaque essieu roulant sur la plate-forme, l'autre roue sur le plat du bandage reposant sur le rail, et un deuxième tronçon de voie de 150 *m* de rayon à largeur normale avec surécartement de 0,050 *m*, et faire donner, si l'on veut,

aux bandages des roues de la voiture d'expérience une conicité de 1/7.

Chaque tronçon de voie n'a pas besoin d'avoir plus de 25 à 30 *m* de longueur.

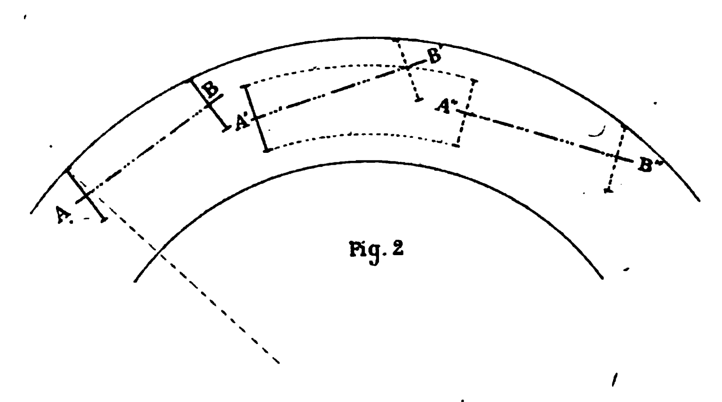
En amenant une voiture ayant 4,80 *m* à 5 *m* d'écartement d'essieu sur la voie normale qui, avec son surécartement de 0,050 *m*, donnera un jeu total de 0,075 *m* entre les rails et les boudins des roues, ceux-ci ayant l'épaisseur normale de 0,030 *m*, la faisant rouler en tractionnant par le crochet d'attelage, le cheval suivant le milieu de la voie, après un parcours moindre que deux fois l'écartement des essieux, le boudin de la roue d'avant, côté du grand rayon, sera en contact avec le rail, et celui de la roue d'arrière, côté du petit rayon, sera en contact avec le rail, malgré la conicité de 1/7 du bandage et y restera constamment collé.

Si on prend une voiture n'ayant que 4 *m* d'écartement d'essieu, le boudin de la roue d'arrière, côté du petit rayon, ne viendra pas toucher le rail dont il restera constamment éloigné de 20 à 22 *mm*.

Si, sans rien déranger à la position de la voiture, on fait tractionner en retour, on verra que, dans un parcours sensiblement égal à l'écartement des essieux, les roues d'avant, qui étaient les roues d'arrière pendant le parcours d'aller, que la roue côté du grand rayon aura son bandage en contact avec le rail, et que celui de la roue d'arrière se sera éloigné du rail, côté grand rayon, d'une quantité égale à celle de la roue d'arrière à l'aller, et qu'ainsi, malgré la conicité des bandages, la voiture aura suivi une ligne droite.

Faisant ensuite passer la voiture sur la plate-forme du tronçon de 1,90 *m* d'écartement entre les rails et mettant l'extérieur des bandages des roues en contact avec le rail, côté du grand rayon, la voiture roulant sur la plate-forme, sur laquelle reposeront les boudins, et les bandages des roues, côté du petit rayon, n'ayant aucun guide latéral pour empêcher les roues de l'essieu d'arrière de prendre, pendant la marche, telle position qui leur conviendra, on verra le bandage de la roue d'arrière, côté du grand rayon, s'éloigner du rail d'une quantité sensiblement égale à la flèche d'un arc dont la corde serait double de l'écartement des essieux, ayant pris une position qu'il ne quittera plus; ainsi que l'indiquent, dans la figure ci-contre, les trois positions AB, A'B' et A"B" de l'axe du châssis de la figure 2 ci-dessous. Il est bon de répéter l'opération en retour, car si les axes des essieux, tout en étant bien parallèles entre eux, n'étaient pas bien perpendicu-

laires à l'axe du châssis, il y aurait une légère différence entre la flèche de déplacement à l'aller et celle trouvée au retour, dont


Fig. 2

la moyenne donnerait la correction de ce défaut de perpendicularité.

Comme vérification de cette tendance de l'essieu d'arrière à prendre une position normalement radiale à la courbe, il convient de placer la voiture toujours roulant sur la plate-forme et sur ses boudins, avec le bandage de la roue d'avant, côté du grand rayon, en contact avec le rail et le bandage de l'essieu d'arrière, côté du grand rayon, beaucoup plus éloigné de ce rail que la flèche d'un arc de cercle dont la corde serait double de l'écartement des essieux, telle que la position *cd* de la figure 3, en tractionnant tou-

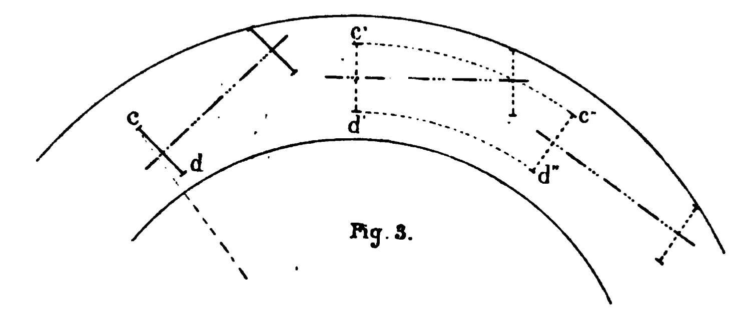


Fig. 3.

jours par le crochet d'attelage, suivant la direction en courbe, la roue en contact avec le rail étant une roue d'avant; le bandage de la roue de l'essieu d'arrière se rapprochera rapidement du rail, côté du grand rayon, pour prendre, comme dans l'expérience précédente, une position *c'd'* sensiblement radiale qu'il ne cherchera plus à quitter jusqu'à la fin du parcours du tronçon, le point

de rotation de l'axe du châssis se trouvant ainsi au contact du bandage de l'essieu d'avant avec le rail, côté grand rayon, tout l'effort de déviation du véhicule s'exercera en ce seul point.

De cette tendance constante de l'essieu d'arrière à faire pivoter le châssis de la voiture autour du point d'appui du boudin de l'essieu d'avant du véhicule, côté du grand rayon, contre le rail, pour venir prendre une position radiale, soit qu'au moment du départ la position de cet essieu soit divergente par rapport au rayon, comme dans la figure 2, ou plus convergente que le rayon, comme dans la figure 3, il résulte clairement que c'est une position normalement radiale qu'il cherchera toujours à prendre, en ne considérant pas les effets d'adhérence à vaincre pour atteindre cette position, qui ne pourraient que légèrement la modifier dans la pratique.

Dans ces conditions, l'axe de l'essieu d'arrière $c''d''$ prenant une position normalement radiale à la courbe, si le jeu de la voie le lui permet ; le déplacement des roues d'arrière, vers le petit rayon, est égal à la flèche d'un arc de la courbe parcourue dont la corde est double de l'écartement des essieux, et est donné, pratiquement, par la formule simplifiée $f = \frac{C^2}{2R}$; tirée de la formule $C^2 = 2Rf - f^2$, dans laquelle C = la demi-corde = l'écartement des essieux, et R = rayon de la courbe parcourue.

Dans un véhicule à trois ou quatre essieux, tel que les locomotives, C ne devrait pas être pris égal à l'écartement des deux essieux extrêmes, mais seulement égal à la distance du premier essieu d'avant, au milieu de la distance des deux derniers essieux.

Il résulte clairement de tout ce qui précède que, plus on donnera de surécartement à la voie, plus on permettra aux véhicules de se placer de travers par rapport à la position normale qu'ils devraient occuper dans une courbe, pour présenter au contact du boudin de l'essieu d'avant avec le rail, côté du grand rayon, l'angle de cisaillement le plus faible possible, qui correspond à la corde de l'arc de cercle embrassé par les deux essieux extrêmes.

On a déjà pu voir, sur la voie à grand surécartement, l'inanité d'une forte conicité des bandages pour empêcher l'essieu d'arrière de venir prendre son roulement sur le rail, côté du petit rayon, sur le plus grand diamètre du cône formant le plat du bandage, et son roulement sur le rail, côté du grand rayon, sur le plus petit diamètre de ce cône ; mais on pourrait croire encore que le roulement des roues de l'essieu d'avant, se faisant dans le bon sens

de l'utilisation de la conicité, il en résulte, pour cet essieu, un concours favorable au passage du véhicule dans la courbe ; il est donc important de vérifier la valeur de cette lueur d'espérance en faveur de la conicité, que l'on a toujours préconisée et préconise encore comme suffisamment efficace, pour ne pas avoir besoin de recourir au principe de la radiation des essieux.

Plaçant la voiture avec ses bandages de roues, reposant sur le rail, côté du petit rayon, et les roues côté du grand rayon, reposant, par leurs boudins, sur la plate-forme métallique établie entre les rails du tronçon de voie de 1,90 *m* de largeur, le roulement côté du petit rayon s'opérera sur le rail, par le plat du bandage, et celui côté du grand rayon, sur les boudins des roues, c'est-à-dire par des cercles ayant de 0,050 à 0,060 de différence de diamètre; en tractionnant la voiture toujours par son crochet d'attelage, elle suivra parfaitement une ligne droite, et le bandage de la roue d'avant, côté du petit rayon, tombera rapidement en dedans du rail.

Si, avec un tel effet de conicité, on n'obtient aucun résultat pour faire prendre au véhicule une direction en courbe, que peuvent signifier les effets de la conicité des bandages, fût-elle d'un dixième et même plus, ne pouvant pas donner, avec un surélargissement donnant 0,050 de jeu, plus de 0,010 de différence de diamètre entre les cercles de roulement ?

Devant cette expérience, tous les petits moyens, le surécartement, la conicité des bandages, au point de vue de faciliter le passage des véhicules dans les courbes, tombent à néant.

La forme des bandages devrait être subordonnée à celle du rail; d'abord il doit avoir une conicité égale à l'inclinaison de $\frac{1}{20}$ de l'axe vertical du rail, généralement adoptée pour la pose des rails sur les traverses, pour avoir, autant que possible, le contact de la roue vers le milieu du patin, et le raccordement de ce cône avec le congé du boudin des roues devrait être identique à la forme révélée par l'usure du plat des bandages.

La Commission dit, dans son rapport au paragraphe D, Faculté de déplacement longitudinal des essieux : « Les expériences à » ce sujet ont été exécutées au moyen des machines P.-L.-M. 4302, » P.-O. 601 et P.-O. 1182, dont les essieux extrêmes pouvaient à » volonté être calés ou rendus libres d'obéir au déplacement longitudinal. Pour chacune de ces machines et dans chacun de leurs » états, on a parcouru deux fois les trois courbes.

» On n'a pas obtenu de variation sensible de la résistance en » supprimant successivement ou simultanément la mobilité des » essieux avant et arrière de la machine P.-L.-M. 4302.

» Pour la machine P.-O. 601, la plus faible résistance a correspondu au calage simultané des essieux avant et arrière; en rendant libres à la fois ces deux essieux, on a obtenu un surcroît » de résistance plus fort d'un cinquième en moyenne pour les trois » courbes et les trois états du dévers, sans d'ailleurs que le dévers paraisse exercer à cet égard une influence appréciable.

» La machine P.-O. 1182, et pour le dévers de 0,160, le fait de » rendre libre un ou plusieurs essieux, a augmenté de plus de » 50 0/0 le surcroît de résistance fourni par la machine complètement rigide. »

La nullité des effets du déplacement longitudinal des essieux, sans convergence, pour faciliter la circulation du matériel roulant dans les courbes, étant démontrée par les expériences de Noisy-le-Sec, sans préjudice de la démonstration expérimentale que j'en donnerai plus loin, exprimée en usures comparatives de bandages pour un nombre considérable de kilomètres parcourus, celle de la conicité et du surécartement étant mis à néant par les expériences que je viens d'indiquer, il me reste à donner les résultats obtenus par la convergence réglée par le déplacement longitudinal des essieux, par l'application des boîtes Roy aujourd'hui passées dans le domaine de la pratique ; on pourra d'autant plus ajouter foi aux résultats d'expériences et observations qui vont suivre, que mon dernier brevet de perfectionnement de boîtes radiales est expiré depuis l'année 1891 et que je n'ai, par suite, aucune espérance de retirer profit de l'extension de leur application à venir.

Boîtes radiales système Edmond-Roy.

Nous venons de voir que l'emploi du simple déplacement longitudinal des essieux extrêmes des locomotives, ne donnait pas les avantages auxquels croyaient les auteurs et les Ingénieurs qui en ont fait de nombreuses applications, en vue de faciliter le passage de leur matériel dans les courbes.

Nous allons maintenant donner les résultats d'expériences dynamométriques et pratiques faites en service courant, sur l'emploi du déplacement longitudinal réglant la convergence, donné,

par les boites Roy, dont je tiens à bien établir ici la date d'origine, parce que c'est une invention essentiellement française, malgré toutes les contrefaçons ou applications qui en ont été faites en Angleterre, en Belgique ou en Allemagne avant les nombreuses applications qui en ont été faites en France depuis quinze ans seulement.

Mon premier brevet pour boites radiales date du 17 mai 1856, sous le titre de Boites et coussinets à glissières obliques.

Je fis une communication sur cette invention à la Société des Ingénieurs Civils de France en 1857, en lui présentant des petits modèles de locomotive et de châssis de wagon établis sur ce principe, avec un mémoire à l'appui qui fut publié la même année dans le *Bulletin* de la Société.

Ce mémoire contient la théorie du principe de la convergence par le déplacement longitudinal de l'essieu avec dessins et épures à l'appui.

Ce n'est que plus tard, après 1859, que MM. C. Polonceau, Caillet et Forquenet préconisèrent et commencèrent à faire l'application du simple déplacement longitudinal, avec la croyance d'obtenir, avec ce simple déplacement et le concours de la conicité, des résultats équivalents à ceux donnés par le déplacement longitudinal donnant la convergence.

Expériences dynamométriques de 1860-1861.

Voici les résultats des expériences dynamométriques faites, sur ma demande, avec le concours de la Compagnie de Paris-Orléans en 1860-1861, par une Commission officielle, composée de MM. Avril, Mary, Busche, inspecteurs généraux des Ponts et Chaussées, Couche, Noblemaire et Gentil, rapporteur, Ingénieurs des mines.

Le matériel d'expériences se composait de :

Une locomotive-tender à quatre essieux accouplés, dont les deux essieux extrêmes étaient montés avec boites Roy ; l'écartement des essieux extrêmes était de 6,400 *m* ;

10 wagons plate-forme à trois essieux, les deux essieux extrêmes montés avec boites Roy, avaient un écartement de 4 *m*; l'attelage était un attelage central.

Ce matériel fut construit en 1859-1860, sur mes données, dans les ateliers de la Compagnie d'Orléans, à laquelle l'État, sur l'ini-

tiative de S. M. l'Empereur Napoléon III, donna une subvention de 120 000 *f* pour la construction de ce matériel et l'établissement d'un chemin de fer provisoire pour faire les expériences.

Ce chemin provisoire à voie normale, en forme de 8 et relié à la voie principale de Paris à Orléans, fut établi à Ivry, près Paris. Il était formé par deux circonférences de 80 *m* de rayon raccordées entre elles par deux petits alignements en croix de 70 *m* de longueur et une petite courbe d'entrée de 200 *m* de rayon de 35 *m* de développement à chaque extrémité ; les deux courbes de 80 *m* de rayon présentaient un développement de 760 *m*, le développement total du 8 était de 1 040 *m*. Le dévers dans les courbes de 80 *m* était de 0,075, racheté sur une longueur de 55 *m*, partie

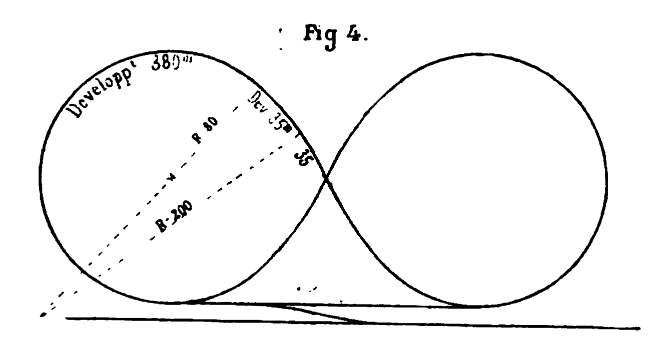


Fig 4.

sur les alignements et partie dans la courbe d'entrée de 200 *m* de rayon, conformément au plan ci-dessus *(fig. 4)*.

TABLEAUX

donnant les résultats des expériences dynamométriques comparatives faites sur la voie provisoire d'Ivry-sur-Seine en 1860-1861.

(Voir pages 138 et 139.)

Expériences sur le chemin en 8 d'Ivry-sur-Seine en courbes de 80 *m* de rayon.

DÉSIGNATION ET INDICATIONS RELATIVES AU MATÉRIEL	DATES DES EXPÉRIENCES	CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES	PARCOURS de CHAQUE EXPÉRIENCE	VITESSE en KILOMÈTRES A L'HEURE	RÉSISTANCE TOTALE PAR TONNE — en courbe à 80 *m* — par tonne	RÉSISTANCE TOTALE PAR TONNE — en courbe à 80 *m* — moyenne	RÉSISTANCE TOTALE PAR TONNE — ALIGNEMENT — Moyenne	SURCROIT DE RÉSISTANCE en COURBE DE 80 *m*
			m	*km*	*kg*	*kg*	*kg*	*kg*
Wagons plate-forme, vides et rails secs, en courbe.								
10 wagons plate-forme à boîtes Roy; 3 essieux; empattement, 4,00; déplacement des essieux extrêmes, chaque coté, 0.025; poids d'un wagon vide, 5340 *kg*; poids brut de la rame de 10 vagons, 53,400 *t*.	14 décembre 1860.	Température + 5°; pas de vent; beau temps; rails secs.	1 040	32,50	8,87	7,40	5,30	2,10
			1 040	31,40	6,50			
			1 040	28,80	8,09			
			1 040	27,50	7,03			
			1 040	22,70	6,90			
10 wagons plate-forme ordinaires P.-O.; 2 essieux; empattement, 2,60; poids d'un wagon vide, 3 300 *kg*; poids brut de la rame de 10 wagons, 43 *t*.			1 040	27,20	12,27	13,00	6,80	7,20
			1 040	28,80	13,36			
			1 040	30,40	13,30			
			1 040	31,20	13,14			
			1 040	31,50	13,48			
			1 040	31,20	13,10			
			1 040	30,40	12,22			
Wagons plate-forme, vides et rails mouillés, en courbe.								
Mêmes 10 plates-formes à boîtes Roy; vides; poids brut de la rame, 53,400 *t*.	20 décembre 1860.	Température + 2°; vent faible N.-O.; neige peu abondante.	1 040	30,00	5,40	5,90	4,40	1,50
			1 040	27,30	5,50			
			1 040	23,90	6,20			
			1 040	25,50	6,20			
			1 040	25,70	6,10			
Mêmes 10 plates-formes ordinaires P.-O.; vides; poids brut, 43 *t*.			1 040	23,70	8,20	8,70	5,85	2,85
			1 040	25,60	8,50			
			1 040	28,40	8,70			
			1 040	28,40	8,50			
			1 040	28,30	8,70			
			1 040	30,70	9,60			
Wagons plate-forme, chargés et rails secs, en courbe.								
Mêmes 10 plates-formes à boîtes Roy; chargement de 12000 *kg* par wagon; poids brut total de la rame, 173,400 *t*.	2 mars 1861.	Température + 10°; vent faible; rails secs.	1 040	25,50	5,65	5,25	3,25	2,00
			1 040	27,30	5,48			
			1 040	27,50	5,23			
			1 040	27,50	4,87			
			1 040	24,00	5,00			
10 plates-formes ordinaires P.-O.; chargement de 8 000 *kg* par wagon; poids brut total de la rame, 125,000 *t*; chargement fait avec des rails.			1 040	25,10	12,00	11,60	3,25	8,35
			1 040	24,30	11,40			
			1 040	23,40	11,55			
			1 040	24,20	11,80			
			1 040	25,30	11,30			
Locomotive-tender à 4 essieux couplés, rails secs, en courbe.								
Locomotive à 4 essieux couplés avec boîtes Roy aux deux essieux extrêmes; empatiement, 6,400; Déplacements { essieu A.V. 0,065 / essieu A.R. 0,045 } Poids en ordre de marche, 47 000 *kg*; en feu, pression 8 *kg*; régulateur fermé; cylindres et tous mouvements bien graissés. Remorquée par petite machine de gare avec fourgon.	29 juillet 1861.	Beau soleil.	1 040	19,70	11,80	11,90	9,10	2,80
			1 040	19,70	12,14			
			1 040	18,00	11,70			

Chaque moyenne de résistance par tonne correspond à un parcours non interrompu de plusieurs tours du chemin d'expérience, formant un parcours de 5 400 à 7 280 *m*.

Expériences en ligne droite entre Paris et Choisy.

DÉSIGNATION ET INDICATIONS RELATIVES AU MATÉRIEL ROULANT	DATES DES EXPÉRIENCES	CONDITIONS ATMOSPHÉRIQUES	PARCOURS de CHAQUE EXPÉRIENCE	VITESSE en KILOMÈTRES A L'HEURE	RÉSISTANCE PAR TONNE pour chaque kilomètre	RÉSISTANCE PAR TONNE moyenne
			m	*km*	*kg*	*kg*
Wagons plate-forme, vides et rails secs en alignement.						
Mêmes 10 plates-formes à boîtes Roy ; vides ; poids brut, 53,400 *t*.	15 décembre 1860.	Température + 3° ; brise légère N.-E. ; rails secs.	1 000	28,10	5,70	5,30
			1 000	29,70	5,48	
			1 000	31,00	6,10	
			1 000	31,80	5,16	
			1 000	30,00	5,43	
			1 000	31,30	5,02	
			1 000	31,30	4,00	
Mêmes 10 plates-formes ordinaires P.-O. ; vides ; poids brut 43 *t*.			1 000	24,50	7,60	6,80
			1 000	27,70	7,70	
			1 000	30,00	7,80	
			1 000	30,50	6,25	
			1 000	30,50	7,05	
			1 000	32,70	6,20	
			1 000	31,60	5,00	
Wagons plate-forme, vides, rails mouillés en alignement.						
Mêmes 10 plates-formes à boîtes Roy ; vides ; poids, 53,400 *t*.	21 décembre 1860.	Température + 2° ; vent faible N.-O. ; neige peu abondante.	1 000	26,80	4,40	4,40
			1 000	24,60	3,80	
			1 000	24,60	4,90	
			1 000	25,50	4,30	
			1 000	22,90	4,60	
Mêmes 10 plates-formes ordinaires P.-O. ; vides ; poids brut, 43 *t*.			1 000	26,10	5,30	5,85
			1 000	26,90	5,36	
			1 000	28,40	6,54	
			1 000	30,70	6,20	
			1 000	30,00	5,88	
Wagons plate-forme, chargés et rails secs, en alignement.						
Mêmes 10 plates-formes à boîtes Roy ; chargés ; poids brut de la rame, 173,400 *t*.	6 mars 1861.	Température + 9° ; vent faible ; rails secs.	1 000	26,50	3,52	3,27
			1 000	26,90	2,96	
			1 000	27,10	3,10	
			1 000	27,10	3,45	
			1 000	27,00	3,30	
Mêmes 10 plates-formes ordinaires P.-O. ; chargés ; poids brut de la rame, 125 *t* (chargements faits avec des rails).			1 000	24,20	3,15	3,25
			1 000	24,60	3,25	
			1 000	25,60	2,95	
			1 000	25,40	3,50	
			1 000	25,20	3,30	
Locomotive-tender à 4 essieux couplés, rails secs, en alignement.						
Même locomotive à boîtes Roy que précédemment et mêmes conditions de marche en expérience.	29 juillet 1861.	Beau soleil.	1 000	21,80	8,52	9,10
			1 000	24,00	8,33	
			1 000	24,70	8,98	
			1 000	25,70	9,53	
			1 000	28,80	9,60	
			1 000	26,70	8,80	
			1 000	25,70	9,90	

Chaque moyenne de résistance correspond à un parcours non interrompu de 5 à 7 *km*.

Il est important de remarquer, qu'à l'époque où ces expériences furent faites, le graissage à l'huile était encore très peu employé en France et que tous les véhicules employés dans les expériences n'avaient que le graissage à la graisse.

On a tenu à ne faire les expériences qu'avec des wagons plate-forme, afin d'obtenir le chiffre réel de résistance propre des véhicules, en courbe et en alignement, dégagé du facteur très variable de la résistance de l'air.

Ces expériences ont toutes été faites en traction sur des parcours non interrompus de 5 à 7 *km*, ainsi que l'indique le tableau, et on a obtenu des résultats qui ont, il me semble, bien mieux le caractère de ce qui se passe dans la pratique que celles faites au lancer, à Noisy, sur un parcours de 200 *m* seulement par courbe, donnant des appréciations en quelque sorte saisies au vol.

Quoi qu'il en soit, si l'on compare les résistances totales des voitures en rame des expériences de Noisy (tableau du litera C) en courbe de 100 *m* de rayon, avec celles des expériences d'Ivry, en courbes de 80 *m*, matériel vide et rails secs, on trouve qu'ils peuvent être, en moyenne, considérés comme identiques, attendu que les fourgons ou voitures des expériences de Noisy ont présenté une résistance supplémentaire, par rapport aux plates-formes des expériences d'Ivry, due à la résistance de l'air sur leurs caisses, quoi qu'en dise la Commission de Noisy, qui considère comme insignifiante l'action de l'air sur la résistance des trains jusqu'à une vitesse de 40 *km*.

Dans les expériences d'Ivry, les influences de la charge des wagons, de l'état des rails, secs ou mouillés, sont nettement déterminées; elles démontrent que le surcroît de résistance par tonne en courbe de 100 *m* de rayon du matériel à boîtes Roy, aussi bien pour la locomotive que pour les wagons, ne dépasse jamais 2 *kgm* aussi bien pour le matériel vide que pour le matériel chargé, les rails secs que les rails mouillés; tandis que cet accroissement varie pour le matériel ordinaire de 2,85 8,35 *kgm*, selon que les rails sont mouillés ou secs : c'est donc la preuve que c'est au matériel roulant, établi suivant le principe de la radiation des essieux, non à la voie ni à la conicité des bandages, qu'il faut demander la solution pour faciliter le passage en courbe du matériel des chemins de fer.

A la suite de ces expériences, M. le Ministre des Travaux publics me transmit par dépêche ministérielle, en date du 28 mai 1862, la confirmation des expériences indiquées ici et les conclusions suivantes du rapport de la Commission :

« Une locomotive munie d'essieux porteurs à coussinets à glis-
» sières obliques (système Ed. Roy) et à deux essieux parallèles

» accouplés, pourrait être employée avec avantage et sans in-
» convénient dans les tracés à courbes à petits rayons.

» Le matériel roulant muni de coussinets à glissières obliques » n'est pas nécessaire pour l'exploitation des chemins de fer dans » lesquels les courbes n'ont pas de rayons inférieurs à 190 *m* en- » viron, mais cependant l'emploi de ce matériel pourra présenter » un certain avantage, au point de vue de l'effort de traction à » développer par le moteur, attendu que des wagons construits » suivant le système de M. Ed. Roy, présentent moins de résis- » tance dans leur mouvement sur des tracés à petits rayons que « les wagons du système ordinaire.

» Telles sont, Monsieur, sans qu'il soit besoin de vous communi- » quer le rapport même de la Commission, l'analyse substantielle » et la conclusion littérale du rapport qui m'a été transmis.

» Recevez, Monsieur, etc.

» *Le Ministre de l'Agriculture, du Commerce*
» *et des Travaux publics*,

» *Signé* : ROUHER. »

Ces conclusions, reconnaissant que des locomotives à plusieurs essieux accouplés, avec essieu porteur système Ed. Roy, pourraient être employées avec avantage dans les tracés à petit rayon, et que les wagons du même système présentaient moins de résistance de roulement que les wagons ordinaires, pouvaient faire espérer que le rayon minimum des courbes (trois cents mètres), inscrit dans les cahiers des charges de concessions de l'époque, pourrait être réduit par l'Administration supérieure à 100 ou 150 *m*, en prévision des importantes économies que l'emploi de ce rayon minimum permettrait de réaliser sur les dépenses de construction de l'infrastructure des chemins de fer en pays accidentés et donnant peu de trafic en général.

C'était surtout dans cet ordre d'idées que, Ingénieur à la Compagnie du chemin de fer Grand-Central de France, attaché au service de sa construction dans le département de l'Aveyron, frappé des dépenses considérables de l'infrastructure entre Capdenac et Laguepie, qui suit les gorges sinueuses de la Diége, de l'Alzou et de l'Aveyron, dont le coût fut une des causes de la ruine de la Compagnie, car sa concession ne comportait aucune garantie d'intérêt des capitaux depensés, j'avais, dès 1855, cherché à résoudre la question d'un matériel roulant circulant

facilement dans les courbes de 100 à 150 *m* de rayon, qui eussent permis de réduire de 35 à 40 0/0 les dépenses d'infrastructure auxquelles avait donné lieu l'emploi du rayon minimum de 300 *m*.

Quand nos expériences furent terminées, la situation économique des Compagnies avait complètement changé; les conventions de 1859 leur assuraient une garantie d'intérêt sur un capital largement évalué, qui les rendait à peu près indifférentes à la question d'économie des dépenses de premier établissement : les charges résultant de cette garantie d'intérêt retombaient à la charge de l'État. L'Administration supérieure des Travaux publics ne s'en préoccupa pas plus que les Compagnies, et les conséquences de cette indifférence se font lourdement sentir aujourd'hui au Trésor public, qui a à payer chaque année plus de 100 millions aux grandes Compagnies, pour parfaire le paiement des intérêts de la dépense de construction des lignes du second et du troisième réseau.

Cette solution financière, détruisant en partie l'objectif principal de mon invention, jointe à la solution bâtarde du déplacement longitudinal sans convergence préconisée par des Ingénieurs ayant une haute situation dans les chemins de fer, pour combattre le système Ed. Roy, me laissait peu d'espérance de tirer profit de mon invention.

Lorsque quinze ans plus tard je repris la question, en apportant un léger perfectionnement à mon système de boîtes radiales, en vue de leur application, aussi bien au matériel des lignes à grand rayon qu'à celui des lignes à petit rayon, j'eus l'heur de m'adresser, pour les expérimenter, à un Ingénieur dont la bienveillance égalait la probité professionnelle, feu M. Edouard Delebecque, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie du chemin de fer du Nord : de là date la reprise d'applications sérieuses, en France, des boîtes Roy.

En résumé, la Commission d'Ivry limite la raison d'être et l'utilité de l'emploi des boîtes Roy aux lignes ayant des courbes d'un rayon inférieur à 200 *m*. Celle de Noisy conclut que l'exploitation des lignes à courbes de 150 *m* de rayon peut être faite avec le matériel ordinaire; on pourrait cependant lui objecter que les vitesses que l'on veut atteindre aujourd'hui réduisent, relativement, les anciens grands rayons en rayons moyens et les rayons moyens en petits rayons, et que, dans ces conditions, la sécurité dans ces grandes vitesses réclame un matériel ayant stabilité et

souplesse, en vue d'éviter qu'on puisse accuser la rigidité du matériel roulant d'être la cause de catastrophes comme celle de Vélars.

En présence de cet optimisme, il convient de montrer ce qu'enseigne la pratique sur la circulation de ce matériel ordinaire dans des courbes ne descendant même pas au-dessous de 250 *m* de rayon; on verra qu'il y a loin de quelques passages accidentels d'une machine, dans des courbes de petits rayons, à un service journalier et permanent dans ces mêmes courbes.

Expériences comparatives d'usure de bandages de roues des essieux d'avant des locomotives.

Ces expériences ont été faites dans des conditions toutes particulières qu'il est bon de relater.

Au mois de décembre 1882, l'administration des Chemins de fer de l'État mit en service, sur la ligne de Clermont-Ferrand à Tulle, avec embranchement sur Largnac, une locomotive-tender à trois essieux couplés, avec un essieu porteur à boîtes Roy sous la partie faisant tender. Cette locomotive était identique aux autres machines à trois essieux couplés à tender séparé, en service sur cette ligne : aucune modification n'avait été apportée au mécanisme et aux chaudières, sinon qu'on avait prolongé les longerons vers l'arrière, pour constituer le châssis de la partie formant tender et recevoir un essieu porteur à boîtes Roy pour porter la charge correspondant à cette annexion.

L'écartement des essieux accouplés sans aucun déplacement était de	3,37
La distance de l'essieu porteur à l'essieu accouplé voisin	2,63
L'empattement total était donc de	6,00

Le déplacement de l'essieu à boîtes Roy, transversalement au châssis, était de chaque côté de.	0,040

La ligne de Clermont à Tulle et son embranchement d'Eygurande à Largnac présentent une longueur de 220 *km;* elle est très accidentée en plan et en profil, le rayon minimum des courbes est de 250 *m ;* en beaucoup de parties, le développement des courbes de 250 à 300 *m* de rayon dépasse la moitié du parcours, le profil en long est formé par une suite non interrompue de pentes et de

rampes de 0,025 *m* qui donnent à ce profil l'aspect de dents de scies.

La voie est posée avec un surélargissement de 0,015 à 0,020 *m*, c'est-à-dire allant jusqu'à un jeu total de 0,040 à 0,045, ce qui permet aux locomotives ordinaires de se mettre un peu plus de travers et d'user plus promptement leurs bandages de roues, avec un dévers de 0,180 pour les aider à retomber sur le rail intérieur.

A l'origine de la mise en service de cette machine-tender, il fallut la faire fonctionner tender en arrière et, par suite, essieu à boites Roy, à l'arrière, les règlements surannés de 1845 étant encore en vigueur; malgré son grand écartement d'essieux extrêmes, la machine s'inscrivait très bien dans les courbes, mais l'effet utile de l'essieu à boites Roy était presque nul, les boudins des roues de l'essieu couplé situé le premier à l'avant se coupèrent tout aussi rapidement qu'aux autres machines, dans un parcours de 7 000 à 9 000 *km*.

Après d'instantes démarches, j'obtins, au bout de plusieurs mois, l'autorisation de faire marcher cette machine, cheminée en arrière, et par suite l'essieu à boites radiales se trouva à l'avant : alors les choses changèrent complètement; les bandages des roues de l'essieu d'avant n'eurent plus besoin d'être rafraîchis qu'après des parcours de 20 à 28 000 *km*, les boudins des roues des essieux couplés furent complètement protégés contre l'usure par l'essieu porteur.

A la suite des nouvelles conventions passées, en 1883, entre l'État et les grandes Compagnies, la ligne de Clermont à Tulle et son embranchement sur Largnac furent incorporés dans le réseau de la Compagnie d'Orléans. Lorsque la Compagnie prit possession de cette ligne, l'Ingénieur en chef du matériel et de la traction, feu M. Forquenot, fut frappé des résultats que donnait la locomotive-tender ayant un essieu porteur avec boites de mon système, et me fit la proposition suivante :

Je vais avoir à faire construire trente locomotives à quatre essieux dont trois couplés avec essieu porteur à l'avant pour l'exploitation de la ligne de Clermont à Tulle.

Je vais en faire construire dix dans les ateliers de la Compagnie; je vous propose d'appliquer votre système de boites radiales à l'essieu d'avant de cinq de ces machines; et aux cinq autres j'y appliquerai mes boites ordinaires à déplacement avec plans inclinés. Si, après un temps de service suffisant pour bien juger de la supériorité de l'un des systèmes sur l'autre, vos boites don-

nent de meilleurs résultats que les miennes, je vous paierai une prime de brevet et en ferai l'application à d'autres locomotives : dans le cas contraire, je ne vous paierai rien et démonterai vos boites.

J'acceptai la proposition avec empressement, sous la réserve formelle, qu'aux locomotives portant mon système de boîtes à l'essieu d'avant le quatrième essieu d'arrière n'aurait aucun déplacement. Cette condition heurtait les idées de feu M. Forquenot sur le passage des locomotives en courbe ; mais, comme pour des applications antérieures, faites en 1883-1884 à la Compagnie P.-L.-M., j'avais eu de grands déboires relatifs à la stabilité de machines ayant également du déplacement à l'essieu d'arrière, en ne tenant pas la main ou mieux dit en ne pouvant pas obtenir la suppression du déplacement de l'essieu arrière, j'en fis une condition *sine qua non;* après avoir expliqué mes motifs, ma condition fut acceptée.

Les dix locomotives série 1801 à 1810 P.-O. furent construites assez rapidement, et mises en service dans le courant de 1885 et premiers mois de 1886, sur la ligne de Clermont à Tulle, toutes attachées au service du dépôt d'Ussel. Ce sont les sœurs aînées des machines P.-O. 1817 et 1825 présentées aux expériences de Noisy par la Compagnie d'Orléans, la première munie de simples plans inclinés avec boîtes à déplacement aux essieux avant et arrière de feu M. Forquenot, la seconde avec doubles plans inclinés aux boîtes de l'essieu d'avant, à désorientation libre.

Des instructions furent données au chef de dépôt pour ne pas interposer les essieux d'avant des cinq machines à boîtes Roy, série 1801 à 1805, sous celles à boîtes ordinaires à déplacement avec plans inclinés, série 1806 à 1810, et tenir des attachements exacts des parcours effectués entre chaque rafraîchissage successif et ceux correspondant à l'usure complète et renouvellement des bandages.

La comparaison des usures des boudins et des parcours correspondants, pendant l'année 1886 et commencement de 1887, démontrait sans contestation la supériorité des boîtes Roy sur les boîtes ordinaires à déplacement avec plans inclinés, et, au mois de septembre 1888, le relevé des attachements spéciaux tenus au dépôt d'Ussel, concernant l'usure des bandages des roues d'avant des deux séries de cinq machines 1801-1805 et 1806-1810 nous donna les résultats résumés dans le tableau ci-après :

Résumé des résultats d'expériences comparatives d'usure de bandages de roues d'avant, faites, du 1er août 1885 au 18 septembre 1888, sur dix locomotives du même type P. O., série 1801 à 1810.

NUMÉRO des ESSIEUX	MARQUE de FABRICATION des BANDAGES	KILOMÈTRES PARCOURUS PAR paire de bandages	essieu	les rafraîchissages successifs	NOMBRE DE RAFRAICHISSAGES successifs	NOMBRE DE MOIS de service au 18 septembre 1888	PARCOURS ANNUEL MOYEN Kilomètres	NOTES ET RENSEIGNEMENTS
								Épaisseur des bandages neufs 70mm
Essieux d'avant montés avec Boîtes Roy, série 1801 à 1805.								
M.1801—1	S.E.A.S.	»	124 810	101 120	3	37,5	39 970	Le 18 septembre trouvé : Épaisseur des bandages 43-45 mm — des boudins 27 mm
M.1802—1	P.G.	»	97 530	87 801	2	34,5	33 920	— des bandages 45-48 mm — des boudins 28 mm
M.1803—1	P.G.	»	69 214	42 174	2	28	29 570	Mise en réparation en 1886 pour longeron cassé. Épaisseur des bandages 46-48 mm — des boudins 26 mm
M.1804—1	P.G.	»	105 390	102 658	4	32	39 000	— des bandages 40-41 mm — des boudins 27 m
M.1805—1		Pas usé						Premier bandage mis au rebus après deuxième rafraîchissage, pour cause de fente et d'aplatissement.
	P.G.	83 524	101 253	83 524	2	31	39 150	Épaisseur des bandages nouveaux après 17 729 km, 68 mm.
	Neufs	17 729						Épaisseur des boudins nouveaux après 17 729 km, 28 mm.
			498 197	417 277	13	163	36 320	
Essieux d'avant montés avec Boîtes ordinaires à déplacement avec plans inclinés, série 1806 à 1810.								
M.1806—1	P.G.	56 525	94 910	88 815	8	30	37 950	Usés.
	S.E.A.S.	38 385						Ne pouvant plus supporter de rafraîchissage.
M.1807—1	P.G.	25 843	67 181	59 959	8	30	26 700	Usés.
	S.E.A.S.	34 116						Usés.
	Neufs	7 222						Pas encore usés.
M.1808—1	P.G.	26 583	67 360	60 288	10	28	28 900	Usés.
	S.E.A.S.	23 654						Usés.
	S.I.A.S.S.	17 123						Pas encore usés.
M.1809—1	P.G.	29 224	76 179	74 354	9	28	32 650	Usés.
	A.S.P.	46 955						Ne pouvant plus supporter de rafraîchissage.
M.1810—1	P.G.	34 589	63 421	61 788	8	26	29 300	Usés.
	Neufs	28 832						Pas encore usés.
		369 051	369 051	345 204	43	142	31 100	

De ces résultats, il ressort les comparaisons suivantes :

Parcours moyen entre deux rafraîchissages successifs :

Pour les essieux montés avec boîtes Roy. $\frac{417\,227}{13} = 32\,098$ *km*

Pour les essieux montés avec boîtes ordinaires à déplacement avec plans inclinés. $\frac{345\,204}{43} = 8\,028$ *km*

Le nombre de rafraîchissages correspondant à l'usure complète d'un bandage est, d'après le tableau, de 4

Le parcours total correspondant à l'usure complète d'une paire de bandages ressort donc :

Pour la série 1801 à 1805 montée avec boîtes Roy, à. . . . . $32\,098 \times 4 = 128\,392$ *km*

Pour la série 1806 à 1810 montée avec boîtes ordinaires à déplacement, à. . . . . $8\,028 \times 4 = 32\,112$ *km*

D'après le tableau, pour les sept paires de bandages complètement usés de la série 1 806 à 1 810, le parcours total correspondant à l'usure complète d'une paire de bandages, ressort à . . . . $\frac{230\,539}{7} = 32\,934$ *km*

Ce sont donc deux résultats parfaitement concordants quoique déterminés par deux moyens différents.

Ces parcours correspondent sensiblement, pour mettre les choses en chiffres ronds, à une durée de trois années de service pour les bandages de roues des essieux montés avec boîtes Roy, et une année de service seulement pour ceux montés avec Boîtes ordinaires à déplacement avec plans inclinés.

Or, la fourniture, la pose, le démontage, le levage et le remontage des machines à chacun des quatre rafraîchissages, correspondant à l'entretien d'une paire de bandages pendant sa période d'usure, représentent une dépense qui s'élève de 1 200 à 1 500 *f*

Soit par an pour essieu monté avec boîtes Roy . . . 400 *f*

— — — avec boîtes ordinaires à déplacement. 1 200 *f*

C'est donc une économie annuelle de dépenses d'entretien de. 800 *f*

par machine, en faveur des premières sur les secondes.

Plus une augmentation de 18 0/0 par an d'utilisation des machines, puisque les premières peuvent fournir un parcours moyen

annuel de 36 000 *km*, tandis que les autres n'en peuvent fournir que 31 000, par suite des nombreux arrêts que leur occasionnent les levages, en moyenne quatre fois plus fréquents.

Cette longue expérience comparative, très complète, entre le principe des essieux à déplacement sans orientation réglée par le déplacement longitudinal des essieux, au passage en courbe, et celui de leur orientation réglée par ce déplacement, ainsi que cela résulte, forcément, des dispositions obliques des boîtes Roy, vient donc combler, d'une manière essentiellement pratique, la lacune des expériences de Noisy en 1891 et confirmer celles faites à Ivry en 1861.

Mais elle démontre en même temps qu'il y a loin des résultats donnés par la pratique journalière à ceux, en quelque sorte théoriques, donnés par quelques passages accidentels de puissantes locomotives dans des courbes à petits rayons d'après lesquelles la Commission a conclu à l'emploi sans inconvénient du matériel tel qu'il existe sur les lignes à rayons de 150 *m*.

Du graissage des boudins.

Il est certain que les plus fortes machines à trois et quatre essieux couplés devant nécessairement rester toujours parallèles, qui ont été soumises aux expériences de Noisy, peuvent très bien s'inscrire dans une courbe de 150 *m* de rayon sans coincement des roues dans la voie, même avec un écartement normal de voie de 1,445 *m* laissant un jeu total de 0,020 *m* entre l'écartement extérieur des boudins des bandages neufs et les rails, car la flèche de l'arc d'une courbe de 150 *m* de rayon embrassé par les deux essieux extrêmes d'une machine à trois essieux couplés de 3,40 *m* d'écartement n'est que de 0,010 *m*, et celle correspondant aux deuxième et troisième essieux d'une machine à quatre essieux couplés de 4,08 d'empattement n'est que de 0,012; si on ne trouve pas ces jeux suffisants, il est facile et pratique de les augmenter, en réduisant à l'avance, de 0,005 *m* l'épaisseur des boudins des essieux intermédiaires qui ne sont pas assujettis à l'usure comme ceux de l'essieu d'avant.

Le graissage des boudins des roues de l'essieu d'avant réduirait-il, en pratique courante, la résistance au passage en courbe et l'usure de ces boudins, dans la proportion de 25 à 30 0/0, comme semble le croire la Commission de Noisy ?

Ce moyen, qui est appliqué en Autriche depuis de nombreuses

années, ne s'est point propagé, malgré la grande simplicité qu'il présente.

En tous cas, il ne saurait diminuer en rien le travail et les efforts de résistances auxquels la voie est soumise pour opérer la déviation et maintenir la machine dans la courbe, car ce travail et cet effort sont dus à l'adhérence du plat des bandages sur le rail ; il n'est pas probable qu'on songera à graisser ces surfaces.

Le graissage des boudins n'est donc pas une solution à recommander.

En voici un exemple :

La Compagnie des chemins de fer du Sud de la France mit en exploitation son premier tronçon à voie de 1 *m* de Draguignan à Meyrargues, dont le rayon minimum des courbes est de 125 *m* et le profil assez accidenté, ayant des pentes et rampes de 0,025 *m*, avec douze locomotives à trois essieux couplés et à tender séparé : l'écartement des essieux extrêmes couplés n'est que de 2,85 *m*, les boudins des roues des essieux d'avant étaient graissés par un appareil analogue à ceux employés en Autriche. Ces machines n'en déraillaient pas moins assez fréquemment dans les courbes et usaient assez rapidement les boudins des roues des essieux d'avant.

Consulté par la Compagnie, feu M. Bandérali conseilla de supprimer l'accouplement des roues de l'essieu d'avant et de lui mettre des boites Roy ; la chose fut faite à six locomotives. Au point de vue du passage dans les courbes, cette modification donna pleine satisfaction, mais n'ayant plus que deux essieux couplés elles ne firent qu'un service très précaire concernant les charges remorquées, à cause des rampes de 0,025 *m*. La solution n'était donc pas très heureuse.

Consulté ultérieurement, je proposai à la Compagnie de maintenir l'accouplement des trois essieux aux six locomotives qui n'avaient pas été transformées et de modifier simplement l'attelage ordinaire de la locomotive avec le tender et de le remplacer par un attelage sec, avec tampons Roy ; l'essai fut accepté et fait immédiatement à mes frais sur une machine. Le résultat fut tellement satisfaisant qu'après quelques mois de service les tampons et l'attelage des onze autres machines furent modifiés de la même manière ; depuis 1890, date de cette modification, les machines à six roues couplées font un bon service et circulent parfaitement dans les courbes de 125 *m* de rayon, usent beaucoup moins les

boudins des bandages de leur essieu d'avant, sans qu'il soit besoin d'avoir recours au graissage de ces boudins.

Ce genre de tampons et d'attelage entre la locomotive et son tender, sans présenter un moyen aussi effectif que la boîte Roy pour faciliter le passage en courbe, donne néanmoins, ainsi que le prouve l'exemple qui précède, aux locomotives qui en sont munies, d'abord toute facilité d'inscription en courbe aux deux véhicules, machine et tender, et combat très efficacement le mouvement de lacet des locomotives dont le foyer est en porte-à-faux, ou dont l'essieu d'arrière est à déplacement longitudinal, en agissant par l'essieu d'avant du tender, auquel il ne faut pas laisser de déplacement, sur l'arrière de la machine pour la ramener vers le rail extérieur, en diminuant ainsi l'angle de cisaillement des boudins des roues de l'essieu d'avant avec le rail extérieur.

C'est par cette action, en quelque sorte inverse à celle des boîtes radiales, que cette disposition de tampons facilite le passage des locomotives en courbe.

Les tampons Roy et les expériences auxquelles leurs premières applications au matériel de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest français ont donné lieu sont décrits (*Revue générale des Chemins de fer*, septembre 1887).

Actuellement, les chemins de fer de l'État français et la Compagnie de l'Ouest en font l'application à tout leur matériel de locomotives à tender séparé, la Compagnie du Grand-Central Belge en fait autant à toutes ses locomotives à grande vitesse.

A ce sujet, je dois faire une observation et une réserve importante sur les expériences de Noisy; c'est que je ne crains pas d'affirmer, que pour faire passer dans les courbes de 150 et de 100*m* de rayon les locomotives à quatre essieux attelées avec leur tender dans ces courbes, il a fallu que l'attelage fût détendu pour toutes celles dont les tampons du tender n'avaient pas leur point d'appui sur un fort balancier, permettant aux tampons de tender de suivre, sans grande résistance, la position oblique que prend la traverse-arrière de la machine par rapport à celle avant du tender; c'est, je crois, le cas des machines P.-L.-M., sans quoi ces machines auraient déraillé.

D'autre part, il y a un critérium bien autrement absolu de la facilité de passage dans les courbes, parce qu'il est fondé sur la pratique, que toutes les expériences au pendule dynamométrique, c'est l'usure des boudins des roues des essieux d'avant, pour un même parcours, sur une même section de ligne, de locomotives

du même type munies de moyens différents pour faciliter leur passage en courbe.

Rien n'est concluant comme le fait pratique dont j'ai donné les résultats pour la ligne de Clermont à Tulle.

De la composition de la charge des trains.

La Commission de Noisy a fait quelques expériences sur la variation du surcroît de résistance que présentent les wagons au passage en courbe, selon que la charge qu'ils portent est placée sur l'avant, le milieu ou l'arrière du wagon : cette expérience est toute théorique, car dans la pratique journalière, les chargements sont, en général, répartis assez uniformément sur le châssis des wagons : c'est l'**a b c** de l'arrimage, sauf quelques cas exceptionnels qui ne sauraient donner lieu à une règle de formation des trains.

La Commission d'Ivry, ainsi que l'indiquent les résultats de ses expériences, a traité la question d'une manière tout à fait pratique, en expérimentant la résistance par tonne brute, aussi bien en ligne droite qu'en courbe, du matériel vide, d'une part, et du matériel à charge complète, d'autre part ; avec 10 wagons plate-forme de chacun des deux types de matériel expérimentés, la différence de résistance par tonne brute est considérable, mais elle doit être proportionnellement moins grande pour les wagons fermés, pour lesquels la résistance de l'air reste la même, que le wagon soit vide, partiellement ou complètement chargé.

Quoi qu'il en soit de la différence de résistance par tonne brute entre des wagons fermés ou des wagons plate-forme, en considérant les résultats des expériences d'Ivry sur ces derniers, la résistance totale d'un train de 400 *t* brutes, formé de wagons à charge complète, présenterait en palier et en ligne droite une résistance de $400 \times 3{,}25\ kg = 1\,300\ kg$, tandis qu'un train de 400 *t* brutes, composé uniquement de wagons vides, présenterait une résistance de $400 \times 5{,}85\ kg = 2\,340\ kg$.

La différence de résistance de 2,60 *kg* à la traction par tonne brute, entre un train composé de wagons à pleine charge, d'une part, et de wagons vides, d'autre part, reste constante quelle que soit la déclivité des pentes de la ligne exploitée ; mais au fur et à mesure que cette déclivité augmente, le rapport entre la résistance totale par tonne brute pour chacun des deux cas de composition des trains diminue : sur une ligne à déclivité de 0.025 *m*

il tombe à 1/10, tandis qu'en palier il est de 8/10 ; il est donc pratiquement négligeable dans le cas des déclivités atteignant 0,025 *m*, mais il ne saurait en être de même pour des déclivités inférieures à 0,020 *m*.

Dans cet ordre d'idées, depuis plus de trente ans, la Compagnie du chemin de fer du Nord, dont le réseau a peu de lignes dont les déclivités dépassent 5 à 6 *mm* par mètre, la composition des trains de marchandises est déterminée, non pas par tonnes brutes effectives remorquées, mais par unités, en comptant :

1	wagon vide, poids mort, en moyenne	5 000 *kg*,	2 unités
1	— à demi-charge. . .	5 000 + 5 000 *kg* = 10 *t*,	3 —
1	— à pleine charge . .	5 000 + 10 000 *kg* = 15 *t*,	4 —

Si on applique à ces poids remorqués les résistances à la traction données par les expériences d'Ivry pour le matériel vide et chargé sur une rampe de 0,005, on trouve pour :

Wagon vide.	5 *t* × (5,85 + 5) *kg*. .	54,05 *kg*
— demi-charge	10 *t* × (4,55 + 5) *kg*. .	93,50 *kg*
— charge complète . .	15 *t* × (3,25 + 5) *kg*. .	123,75 *kg*

Divisant chacune de ces résistances par le nombre d'unités auquel elle correspond, on trouve que la résistance à la traction de une unité est :

Pour wagon vide.	54,05 : 2 = 27 *kg*
— demi-charge	93,50 : 3 = 31 *kg*
— à charge complète. . . .	123,75 : 4 = 31 *kg*

soit en moyenne 30 *kg* par unité.

Ce mode de composition des trains, en pratique depuis de nombreuses années sur l'un des réseaux ayant le plus gros trafic de marchandises est, on le voit, en parfaite concordance avec les expériences de la Commission d'Ivry, déterminant la résistance de traction de la tonne brute remorquée, pour matériel vide et pour matériel chargé.

Cette observation montre l'erreur dans laquelle sont toutes les Compagnies qui déterminent les charges à faire remorquer par les locomotives en raison du nombre absolu de tonnes entrant dans la composition d'un train, sans tenir compte de la différence de résistance à la traction entre la tonne de wagon vide et celle de wagon chargé, surtout sur les lignes à rampes maximum de 10 *mm*.

Analyse de l'action des locomotives sur la voie, au passage en courbe de 300 *m* de rayon.

Après tous les résultats d'expériences qui précèdent, il n'est pas sans intérêt d'analyser et de rechercher à se rendre compte de l'action des machines sur la voie, à leur passage dans les courbes, en raison de la vitesse et des dévers généralement exagérés qui y sont appliqués.

Il y a déjà dix ans que, par l'organe d'un de ses chefs de service le plus autorisé, M. l'Ingénieur en chef Brière, de la Compagnie d'Orléans, la voie fit entendre sa plainte (voir *Revue générale des Chemins de fer*, avril 1883), contre les renversements des rails que lui occasionnait le passage des locomotives dans les courbes, ne se doutant pas qu'elle était en grande partie, autant que les locomotives, l'auteur inconscient du mal dont elle souffrait.

Les faits signalés se passaient sur la ligne de Paris à Toulouse, dans la section comprise entre Brive, Capdenac et La Guépie, dans laquelle il existe de nombreuses courbes de 350 et de 300 *m* de rayon parcourues par des trains express à marche normale de 60 *km* à l'heure.

Le dévers, dans les courbes de 300 *m*, était poussé jusqu'à 0,210 *m*.

C'est sur ces conditions de tracé, de pose de voie et de vitesse de marche normale des trains, sur cette section, qu'est établie l'analyse qui suit :

Les locomotives du type P.O. à quatre essieux à voyageurs à quatre roues accouplées et à marchandises à huit roues accouplées, dont le schéma est ci-après, employées sur cette ligne, sont bien connues.

Ces deux types de locomotives du même poids peuvent, sans grande différence dans les résultats des calculs, être considérés comme ayant leur centre de gravité au-dessus des rails à la même hauteur, parce que si l'un a l'ensemble de ses pièces de mouvement plus élevé que l'autre, ce dernier a une chaudière beaucoup plus lourde que le premier.

La vitesse normale de marche des trains express sur la ligne Paris-Toulouse étant de 60 *km* à l'heure, le dévers correspondant

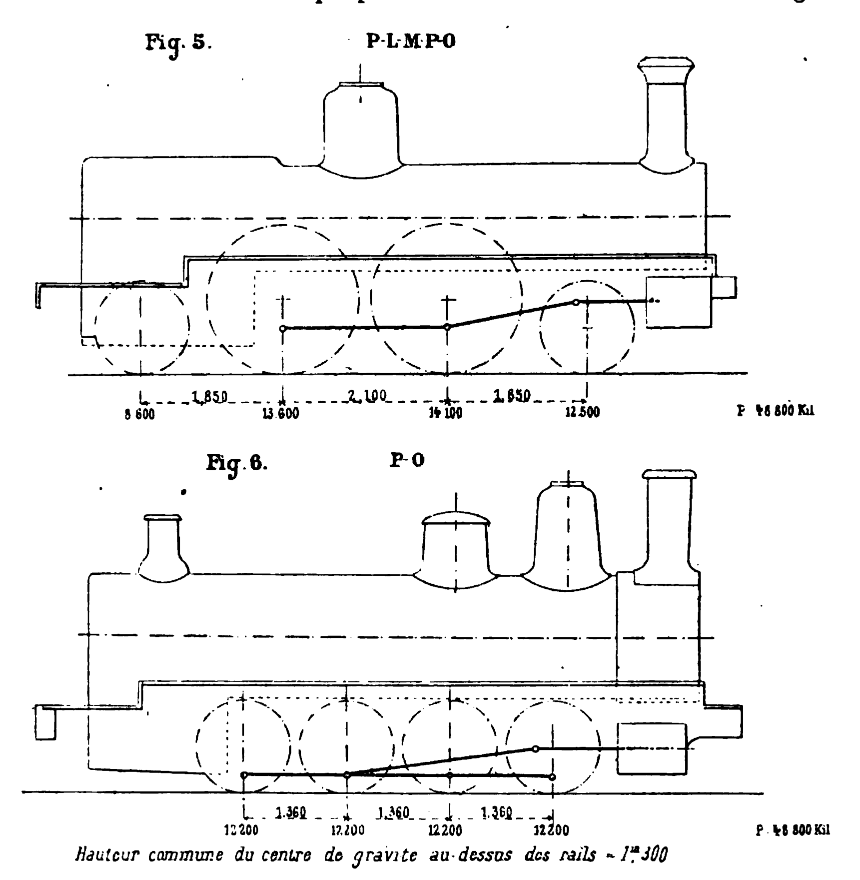
à cette vitesse de marche n'est que de **0,142** *m* d'après la formule vraie $h = \frac{v^2}{gR} \times 1{,}50$.

Ces locomotives, à essieux constamment parallèles, réagissent sur la voie en passant dans les courbes, en raison :

1° De la pesanteur ;

2° De la force centrifuge ;

3° De leur tendance propre à suivre une direction en ligne



Hauteur commune du centre de gravite au-dessus des rails = 1m300

droite et à s'échapper de la courbe que la voie doit vaincre constamment et que j'appelle effort de ripement ou déviation.

Ces trois actions agissent en raison du poids de la machine, de sa vitesse, du dévers et en raison inverse du rayon de la courbe parcourue.

Les deux premières actions étant tout à fait indépendantes de la troisième, la résultante en sera toujours la même quelle que

soit la plus ou moins grande facilité de passage en courbe que pourront comporter les dispositions du train de la locomotive ; il convient donc d'analyser spécialement les effets de ces deux premières actions sur la voie, sans y mêler celui de la déviation qui sera examiné à part pour grouper ensuite l'ensemble des deux résultats.

Pesanteur et Force centrifuge.

Soit :

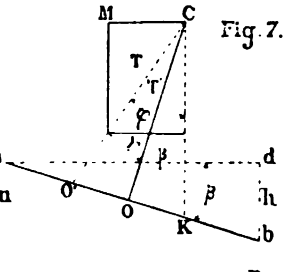
P = Poids de la locomotive . . . . = 48 800 *kg*
V = Vitesse en kilomètres à l'heure. = 80 *km*, 60 *km*, 40 *km* et 20 *km*
v = Vitesse par seconde . . . . . = 22,20, 16,70, 11,10 et 5,56
R = Rayon de la courbe parcourue. = 300 *m*
h = Dévers donné à la voie en courbe = 0,21, 0,14, nul
M = Effort centrifuge de la machine,

on a $M = \frac{PV^2}{gR}$, appliquant, on a :

Pour vitesse 80 *km* à l'heure $M = \frac{48\,800 \times 22{,}20^2}{9{,}81 \times 300} = 8\,170$ *kg*,
— 60 *km* — — = 4 620 *kg*,
— 40 *km* — — = 2 040 *kg*,
— 20 *km* — — = 510 *kg*.

M est indépendant de la valeur du dévers, mais la résultante de son action et de celle de la pesanteur sur les rails variera avec lui, soit :

dab = β = angle à l'horizon du plan du dessus des rails (dévers);
c, centre de gravité de la machine ;
oco' = γ = angle de la résultante du poids P et de la force centrifuge M, avec la perpendiculaire *co* au plan du dessus des rails, passant par le centre de gravité ;



o'ck = φ = angle de la résultante avec la verticale *ck*;
co' = T, résultante de P et de M ;
co = T', composante perpendiculaire au plan du dessus des rails;
oo' = t, composante transversale suivant le plan des rails ;
oo', distance du pied de la résultante T au milieu de la voie ;
m, charge sur la file extérieure des rails ;
n, charge sur la file intérieure des rails ;
bd = h, dévers .

On a :

$$\sin \beta = \frac{h}{1{,}50},$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{M}{P},$$

$$ock = dab = \beta \text{ d'où } \gamma = \varphi - \beta,$$

$$T = \frac{P}{\cos \varphi},$$

$$T' = T.\cos \gamma,$$

$$t = T.\sin \gamma,$$

$$oo' = oc.\operatorname{tg}\gamma = 1{,}30.\operatorname{tg}\gamma,$$

$$m = \frac{T'.o'b}{o'a + o'b} = T' \times \frac{0{,}750 \pm oo}{1{,}50},$$

$$n = \frac{T'.o'a}{o'a + o'b} = T' \times \frac{0{,}750 \mp oo}{1{,}50}.$$

Effectuant en appliquant aux types de locomotives ci-dessus on a :

	DÉVERS			
		0,21		0,14
Vitesse de 80 km à l'heure :		—		—
Angle β.		8° 3′		5° 22′
» φ.		9° 31′		9° 31′
» γ.	+	1° 28′	+	4° 11′
T		49 480 *kg*		49 480 *kg*
T′		49 460 *kg*		49 340 *kg*
t.	+	1 270 *kg*	+	3 610 *kg*
oo′		0,033 *m*		0,094 *m*
m		25 800 *kg*		27 760 *kg*
n		23 660 *kg*		21 580 *kg*
Vitesse de 60 km à l'heure :				
Angle β.		8° 3′		5° 22′
» φ.		5° 24′		5° 24′
» γ.	—	2° 39′	+	4′
T		49 010 *kg*		49 010 *kg*
T′		48 960 *kg*		49 000 *kg*
t.	—	2 270 *kg*		nul
oo′		0,060 *m*		nul
m		22 520 *kg*		24 500 *kg*
n		26 440 *kg*		24 500 *kg*

Vitesse à 40 km à l'heure :

Angle β.	8° 3′	5° 22′
» φ.	2° 24′	2° 24′
» γ.	— 5° 39′	— 2° 56′
T	48 850 *kg*	48 850 *kg*
T′	48 510 *kg*	48 610 *kg*
t.	— 4 810 *kg*	— 2 500 *kg*
oo′.	— 0,129 *m*	— 0,067 *m*
m	20 080 *kg*	22 150 *kg*
n	28 430 *kg*	26 460 *kg*

Vitesse à 20 km à l'heure :

Angle β.	8° 3′	5° 22′
» φ.	0° 36′	0° 36′
» γ.	— 7° 27′	— 4° 44′
T	48 803 *kg*	48 803 *kg*
T′	48 390 *kg*	48 640 *kg*
t.	— 6 330 *kg*	— 4 030 *kg*
oo′.	— 0,170 *m*	— 0,108 *m*
m	18 710 *kg*	20 820 *kg*
n	29 680 *kg*	27 820 *kg*

De ces résultats on obtient le tableau suivant qui les résume et rend les comparaisons plus faciles :

TABLEAU A

Résumant l'action de la force centrifuge et de la pesanteur sur la voie, en courbe de 300 *m* de rayon, en raison du dévers et de la vitesse de locomotives à 4 ou 8 roues accouplées pesant 48 800 *kg*.

VITESSE en KILOMÈTRES à l'heure	INDICATION du CÔTÉ DE LA VOIE en courbe	DÉVERS DE 0,210		DÉVERS DE 0,140	
		CHARGE sur rails T′	POUSSÉE TRANSVERSALE sur les rails *t*	CHARGE sur rails T′	POUSSÉE TRANSVERSALE sur les rails *t*
km		kg	kg	kg	kg
80	Extérieur.	25 800	+ 1 270	27 760	+ 3 610
	Intérieur.	23 660		21 580	
60	Extérieur	22 520	— 2 270	24 500	Nulle.
	Intérieur.	26 440		24 500	
40	Extérieur	20 080	— 4 810	22 150	— 2 500
	Intérieur.	28 430		26 460	
20	Extérieur	18 710	— 6 330	20 820	— 4 030
	Intérieur.	29 680		27 820	

Les poussées affectées du signe + s'exercent vers l'extérieur de la courbe ; celles affectées du signe — vers l'intérieur ou petit rayon.

Il n'y a pas lieu de tenir compte, ici, du frottement du boudin des roues des essieux contre la paroi verticale des rails ; c'est un effort dans le sens longitudinal de la voie, qui ne modifie en rien les efforts transversaux dus au dévers et à la force centrifuge.

Ces répartitions de charge et de poussées des machines, aux passages des courbes, se reportent sur le patin du rail en des points qui varient avec le dévers, de la position desquels il convient de se rendre compte, pour avoir une idée exacte de leur action sur la voie en raison des différentes vitesses de marche et du dévers.

Les rails sont posés sur les traverses, avec une inclinaison de 1/20 par rapport à la ligne passant par le dessus des deux files de rails, et font avec cette dernière un angle que je désignerai par θ qui a pour tangente $0{,}050 = \text{tg}\ 2^\circ\, 52'$.

β angle du dévers avec l'horizon étant déjà connu, l'inclinaison de l'axe du rail en raison du dévers, par rapport à la verticale est :

Pour le rail extérieur $\beta + \theta$;
Pour le rail intérieur $\beta - \theta$.

L'angle φ de la direction de la résultante T de l'action de la pesanteur et de la force centrifuge par rapport à la verticale étant connu (calculs précédents).

Désignant par Δ l'angle $(\beta \pm \theta)$:

$\Delta = \beta + \theta$ pour le rail extérieur;
$\Delta = \beta - \theta$ pour le rail intérieur.

$\varphi \pm \Delta$ exprime l'angle de la résultante T avec l'axe du rail, et permet de déterminer à quelle distance du milieu du patin du rail viendra passer la résultante T ayant son point d'application sur le milieu du champignon du rail.

Faisant l = hauteur du rail, p = distance du point de rencontre de la direction φ de la résultante T avec le patin, au milieu de celui-ci, on a $p = \text{tg}\ (\varphi \pm \Delta)\,.\,l$.

Pour un rail de 0,130 de hauteur avec patin de 0,100 de largeur, on a, en appliquant la formule donnant la valeur de p, le tableau suivant :

TABLEAU B

Distance du milieu du patin du rail à son point de rotation de renversement.

	DÉVERS DE 0,210		DÉVERS DE 0,140	
	rail extérieur	rail intérieur	rail extérieur	rail intérieur
Vitesse de 80 *km*.	0,013	0,010	—0,003	0,016
Vitesse de 60 *km*.	0,0125	0,0006	0,0065	0,0065
Vitesse de 40 *km*.	0,0195	—0,006	0,0130	0,000
Vitesse de 20 *km*.	0,024	—0,010	0,017	—0,004

Toutes les distances affectées du signe — sont vers l'extérieur de la voie.

Afin de permettre de pouvoir juger à première vue les meilleures conditions, en général, de répartition d'efforts auxquels sont sou-

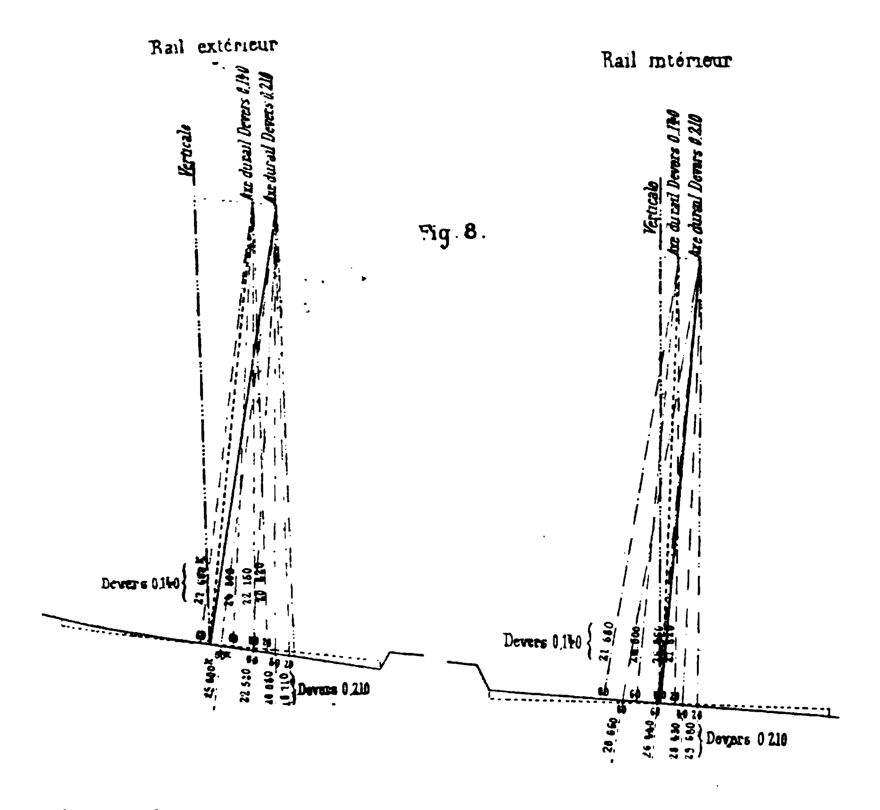


Fig. 8.

mises les deux files de rails, avec la position que leur donne le dévers de 0,140 par rapport à celle que leur donne le dévers de

0,210, j'ai figuré, en 2/3 de grandeur naturelle, la position de chaque file de rails et des résultantes T de la pesanteur et de la force centrifuge, pour les quatre vitesses ci-dessus indiquées.

Cette épure, conforme aux résultats ci-dessus, montre qu'à la vitesse maximum de 80 *km*, la direction de la résultante due à cette vitesse n'atteint pas une inclinaison aussi grande que celle de l'axe du rail extérieur, même avec le dévers de 0,140, ce qui prouve l'inutilité d'un dévers exagéré pour assurer la sécurité contre l'action de la force centrifuge, et que ce n'est pas à l'action de la résultante de cette dernière et de la pesanteur que sont dus les renversements du rail extérieur en dehors de la voie; d'où il résulte clairement qu'avec le dévers calculé, pour la vitesse normale de marche des trains rapides, cette vitesse peut être accrue de 33 0/0 accidentellement, sans danger pour la sécurité.

Dans tout ce qui précède, la marche des machines est considérée s'effectuant dans des conditions normales, mais avec des changements atmosphériques; les conditions d'action de la pesanteur et de la force centrifuge restant les mêmes, celles suivant lesquelles elles réagissent sur les rails subissent de notables modifications.

Par un temps sec, l'adhérence des roues sur les rails est de 25 à 30 0/0 de la composante perpendiculaire à la ligne passant par le dessus des deux files de rails, l'effort transversal se trouve réparti, en quelque sorte, par parties égales sur chaque file de rails, en vertu de l'adhérence ; mais survienne une pluie fine, un fort brouillard, un temps gras, comme disent les mécaniciens, le coefficient d'adhérence tombe souvent à 0,10 ; avec le dévers de 0,21 donnant une inclinaison transversale à la voie de 1/7, l'équilibre est rompu, la machine glisse vers le rail intérieur qui se trouve alors seul, en quelque sorte, avoir à supporter des poussées d'autant plus fortes que la vitesse de marche est moins grande. Avec le dévers maximum égal au 1/10 de la largeur de la voie, ce qui est le cas du dévers 0,140 *m*, l'inclinaison transversale de la voie ne dépassant pas le minimum du coefficient d'adhérence, les choses ne se passent plus de la même manière et les poussées transversales restent, quelque temps qu'il fasse, à peu près partagées par portions égales sur chaque file de rails, et cela avec d'autant plus de raison qu'avec ce dévers aucune poussée, en raison de la vitesse de marche, n'atteint pas le 1/10 de la charge, tandis qu'avec le dévers de 0,21 *m* les trains de marchandises donnent lieu à une poussée vers le petit rayon de 6 300 *kg* égale au 1/8 de la charge,

qui tend, presque par tous les temps, à faire supporter la majeure partie de cette poussée au rail intérieur et à le faire renverser en dehors de la voie (voir tableau A).

Il n'est nullement ici question des causes de renversement des rails en dehors de la voie, dues au mouvement de lacet, car, quel que soit le type de machine dont l'écartement des essieux extrêmes ne soit pas trop petit, à moins qu'il n'ait l'heur d'être muni de plans inclinés à l'avant et à l'arrière avec déplacement longitudinal de ces deux essieux extrêmes, qui en font un château branlant, le mouvement de lacet ne se fait pas sentir dans les courbes de rayon inférieur à 5 ou 600 *m*.

Et les locomotives ! Pense-t-on qu'elles puissent se bien trouver d'un dévers exagéré ?

Les poussées transversales, déterminées antérieurement en raison du dévers et de la vitesse, se reportent intégralement sur les collets des essieux, déduction faite d'environ 5 0/0 pour tenir compte du coefficient de frottement et de réduction de charge sur les fusées des essieux, poussées auxquelles il convient d'ajouter, pour celles qui ont lieu vers le centre de la courbe, 8 à 10 0/0 de la moitié de la charge totale sur fusées, pour les machines ayant les plans inclinés à 10 et 12 0/0 aux boîtes des deux essieux extrêmes avant et arrière. C'est là, nécessairement, une cause d'usure rapide des joues de coussinets, de fatigue pour tous les organes de suspension et du châssis.

Si, à toutes ces raisons déduites de l'examen théorique de la question, on ajoute les résultats pratiques des expériences de la Commission des courbes dans le courant de l'année 1892, qui a été assez audacieuse pour lancer des locomotives de grandes lignes dans des courbes de 200, 150 et 100 *m* de rayon, sans aucun dévers, à des vitesses de 30 à 35 *km* à l'heure, sans qu'il en résulte aucun déraillement, et sans que la résistance au passage en courbe fût notablement plus grande avec la voie sans dévers qu'avec un dévers moyen égal à environ une fois et demie celui correspondant à ces vitesses, on est forcément appelé à conclure que le dévers exagéré est une solution mauvaise qui, au lieu de donner une garantie pour la sécurité de la marche des trains, présente de graves inconvénients, en ce qu'il occasionne plus rapidement la détérioration de la voie et du matériel roulant qu'un dévers modéré.

En principe, pour ne pas faire travailler la voie et les machines dans des conditions désastreuses pour la solidité de l'une et les dépenses d'entretien des autres, il ne convient pas que le dévers

dépasse 1/10 de la largeur de la voie, quelle que soit cette largeur, et, par contre, la vitesse maximum de marche normale des trains les plus rapides de la ligne ou section de ligne à parcourir doit être limitée par ce dévers, calculé suivant la formule vraie : $h = \frac{v^2}{g.R}.l$,

Ou plus simplement pour voie normale $l = 1{,}50\ m$ par la formule pratique : $h = 0{,}012 \frac{V^2}{R}$.

V exprimant la vitesse en kilomètres à l'heure, et pour voie de 1 m : $h = 0{,}008 \frac{V^2}{R}$.

D'où l'on déduit pour vitesse maximum de marche normale des trains à faire circuler sur les différentes sections d'une ligne, en raison du rayon des courbes :

h étant = 0,150 pour voie normale,
h étant = 0,100 pour voie de 1 m,

$$V^2 = R \times 12{,}50 \text{ et } V = \sqrt{R.12{,}50}.$$

Appliquant, on obtient ainsi pour :

R = 800 m	V = 100,00 km	à l'heure.
R = 600	V = 86,00	—
R = 500	V = 79,12	—
R = 400	V = 70,71	—
R = 350	V = 66,14	—
R = 300	V = 61,23	—
R = 250	V = 55,90	—
R = 200	V = 50,00	—
R = 150	V = 43,33	—

Ce sont là des vitesses de marche normale, d'autant plus acceptables qu'elles peuvent être accrues de 33 0/0 sans inconvénients pour les accroissements de vitesse accidentels.

Il convient de remarquer la grande variation de charges sur chaque file de rails, résultant des deux dévers comparés à la vitesse de 20 km à l'heure trouvées précédemment :

Côté	Grand rayon	Petit rayon
Pour dévers de 0,21	18 700 kg	29 600 kg
— de 0,14	20 800	27 800

Or, comme les charges maximum se produisent sur la file intérieure des rails, il est bien évident que le boudin de la roue de l'essieu d'avant, côté du rail extérieur de la courbe, pourra monter d'autant plus facilement sur le rail que cette roue sera moins chargée et que celle du rail intérieur, par contre, plus chargée, aura plus d'action pour le renverser en dehors de la voie.

D'autre part, le coefficient d'adhérence des traverses sur le ballast est au minimum 0,25 de la charge sur les rails, soit :

$$48\,800 \times 0{,}25 = 12\,200 \; kg.$$

La poussée transversale vers le grand ou le petit rayon tendant à faire riper les traverses sur le ballast ne dépasse pas, dans les limites des deux vitesses extrêmes considérées, 80 et 20 *km* à l'heure, pour le dévers de 0,140 . . . . 4 000 *kg*
tandis qu'elle atteint pour le dévers 0,21 . . . . . . 6 300 —

Il en résulte, au point de vue de l'assiette de la voie sur le ballast et de la sécurité, que c'est encore le dévers modéré qui l'emporte sur le dévers exagéré dans le rapport de 3 à 2, car, que l'on disloque le rail extérieur ou le rail intérieur, la voie n'en est pas moins disloquée et la sécurité compromise.

Après avoir analysé les actions des forces irréductibles, de la pesanteur et de la force centrifuge sur la voie, et de celle-ci sur son assiette, le ballast, en raison du dévers, il n'est pas sans intérêt d'examiner ce que ce dévers vaut en lui-même, en admettant une voie d'une solidité absolue, pour résister à la résultante de ces deux forces aux plus grandes vitesses possibles, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'elles puissent produire le renversement du véhicule.

Le renversement pourra avoir lieu, lorsque la résultante T passera par le milieu du rail extérieur de la courbe.

Des formules qui précèdent, on a (voir *fig. 6*) :

$$M = \frac{Pv^2}{g.R} \text{ et } M = P.\text{tg}\,\varphi \text{ et } \text{tg}\,\varphi = \frac{M}{P}$$

Mais $\varphi = \gamma + \beta$

D'où $v^2 = g.R.\text{tg} = (\gamma + \beta)$

Et $v = \sqrt{g.R.\text{tg}\,(\gamma + \beta)}$ vitesse par seconde correspondant au renversement du véhicule.

γ, angle de la résultante T avec la perpendiculaire à la ligne des rails, partant du centre de gravité et, par suite, passant par le milieu de la largeur de la voie, sera, dans ce cas, déterminé par

$$\text{tg}\,\gamma = \frac{0{,}75}{1{,}30} = 0{,}5769 = \text{tg}\,29^\circ 59'.$$

On a déjà :

Pour dévers 0,21 $\beta = 8^\circ 3'$,
» 0,14 $\beta = 5^\circ 22'$,
» nul β = nul.

Effectuant pour R = 300 *m*, on aura :

	VITESSES DE RENVERSEMENT	
	MÈTRES PAR SECONDE	KILOMÈTRES A L'HEURE
	m	*km*
Pour dévers de 0,210	47,97	172,700
— — de 0,140	45,68	164,500
— — nul.	39,78	143,200

Pour ces vitesses de renversement, la composante *t* donnant la poussée, suivant le plan du dessus des deux files de rails, serait respectivement :

Pour dévers de 0,210 . . . . 31 000 *kg*
» 0,140 . . . . 29 900
» nul 28 200

Il est bien évident qu'avant d'atteindre, pour l'un quelconque des deux dévers, la poussée correspondante au dévers nul, il y aurait rippement des traverses sur le ballast, et qu'il se produirait un déraillement, en supposant que le rail extérieur fût assez solidement attaché sur sa traverse pour ne pas avoir été renversé avant que la vitesse du dévers nul fût atteinte.

Ces résultats expliquent pourquoi la Commission des courbes a pu impunément lancer de grosses locomotives dans des courbes de 200, 150 et 100 *m* de rayon, sans aucun dévers, à des vitesses de 25 à 30 *km* à l'heure, et viennent à l'appui de toute cette étude, pour démontrer le peu de supériorité de sécurité relative que présente, même en considérant les grandes vitesses, le dévers exagéré sur le dévers modéré.

Des résultats obtenus dans cette première partie d'étude, on peut donc conclure :

Que le dévers ne doit jamais dépasser un dixième de la largeur de la voie ;

Que ce dévers doit être simplement déterminé en raison de la marche normale des trains les plus rapides de la section à parcourir ;

Qu'en limitant la vitesse de la marche normale des trains les plus rapides à un dévers maximum égal au dixième de la largeur de la voie, cette limite n'entravera nullement l'exploitation de toutes nos grandes lignes, où le rayon des courbes descend rarement au-dessous de 500 *m*;

Que ces vitesses peuvent être accrues accidentellement d'un tiers sans aucun danger pour la sécurité et avec un avantage marqué pour le maintien du bon état de la voie.

Déviation en courbe

Il n'est pas contesté aujourd'hui et je l'ai démontré en commençant que, lorsqu'un véhicule quelconque, à essieux constamment parallèles, circule dans une courbe, c'est toujours le boudin de la roue de l'essieu d'avant qui porte seul contre le champignon du rail extérieur et a, par suite, à supporter la poussée due à la tendance du véhicule à suivre une direction en ligne droite, et que c'est alors sur ce boudin que s'exerce tout l'effort de résistance que doit présenter le rail extérieur, pour faire dévier le véhicule, le contraindre à suivre la direction en courbe et l'y maintenir.

Cette question a été étudiée, il y a déjà longtemps, par M. Jules Michel et par moi. (Voir *Revue générale des Chemins de fer* de janvier, septembre et octobre 1884.)

Pour les véhicules à deux essieux, le mouvement giratoire du véhicule s'opère autour du milieu de l'essieu d'arrière.

Pour ceux à quatre essieux des types de locomotives ici considérés, il s'opère très sensiblement autour du milieu du troisième essieu.

L'effort de déviation aux essieux dit de ripement varie :

1° Avec la charge normale au plan du dessus des rails T', déjà determiné ;

2° Avec la poussée transversale t, due à la pesanteur et à la force centrifuge déjà déterminée : la part applicable à l'essieu d'avant $= \frac{t}{4}$ qui tient compte du dévers;

3° Avec le coefficient d'adhérence des roues sur les rails $= f$,

Désignant par :

		Types de machines	
		Voyageurs.	Marchandises.
X =	Effort de déviation.	—	—
L =	Distance du 1er au 3e essieu. . . .	3,95	2,72
l' =	» du 2e au 3e »	2,10	1,36
l'' =	» du 3e au 4e »	1,85	1,36

Le troisième essieu étant considéré comme ayant une position normale, c'est-à-dire placé suivant le rayon, ne présente pas de résistance de déviation.

$f = 0{,}30$, coefficient d'adhérence des roues sur rails secs; 0,10, rails mouillés ou humides; moyenne, 0,20.

y = portion de la poussée t applicable à l'essieu d'avant $= \frac{t}{4}$, tenant compte de l'action du dévers;

$p + p' + p'' + p'''$, charges respectives sur chacun des essieux, $=$ T', charge normale au plan du dessus des rails déjà déterminée, à répartir proportionnellement sur chaque essieu en raison de sa charge normale.

Il convient de remarquer que le boudin de la roue, côté du rail extérieur de la courbe, de l'essieu d'avant, porte contre le rail, que ce rail sert lui-même de point d'appui au ripement du bandage qu'il supporte en ce point, et que, par suite, il ne subit aucun effort tendant à le renverser, de la part de l'essieu d'avant, autre que celui correspondant au ripement du bandage de la roue, côté intérieur de la courbe, de cet essieu, et au ripement des autres essieux; que la charge de la roue de l'essieu d'avant, côté intérieur de la courbe, est d'autant plus grande que la vitesse est plus petite et le dévers plus fort.

D'après les données et l'observation qui précèdent, on a pour moment de l'effort de ripement par rapport au troisième essieu :

$$X . L = f . \left(\frac{p}{2} \cdot L + p'l' + p'''l'''\right)$$

$$X = f . \frac{\left(\frac{p}{2} \cdot L + p'l' + p'''l'''\right)}{L}$$

D'autre part,

$$y = \pm \frac{t}{4}.$$

La poussée totale du boudin de la roue de l'essieu d'avant, côté extérieur de la courbe, est $= X \pm y$.

Effectuant, pour la machine à voyageurs, aux vitesses de 80, 60 et 40 *km* à l'heure, pour la machine à marchandises à 20 *km* et pour les deux dévers de 0,210 et 0,140, on obtient les résultats consignés au tableau ci-après :

TABLEAU C résumant l'action des roues de l'essieu d'avant des locomotives à 4 essieux, à voyageurs et à marchandises, type P.-O., sur les rails ; en courbe de 300 *m* de rayon, adhérence moyenne de 0,20.

VITESSE en KILOMÈTRES à l'heure.	FILE DE RAILS de la COURBE CÔTÉ	DÉVERS DE 0,210				DÉVERS DE 0,140			
		CHARGES DES ROUES AV. sur rail.	POUSSÉE TRANSVERSALE DUE A LA			CHARGES DES ROUES AV. sur rail.	POUSSÉE TRANSVERSALE DUE A LA		
			x ripement.	y force centrifuge pesanteur.	TOTALE		x ripement.	y force centrifuge pesanteur.	TOTALE
80	Extérieur	6 600	+ 3 550	+ 320	+ 3 870	7 100	+ 3 440	+ 900	+ 4 340
	Intérieur.	6 060	— 1 210		— 1 210	5 520	— 1 100		— 1 100
60	Extérieur	5 750	+ 3 680	— 570	+ 3 110	6 270	+ 3 570	»	+ 3 570
	Intérieur.	6 770	— 1 350		— 1 350	6 270	— 1 250		— 1 250
40	Extérieur	5 330	+ 3 760	— 1 200	+ 2 560	5 670	+ 3 660	— 630	+ 3 030
	Intérieur.	7 280	— 1 400		— 1 460	6 800	— 1 360		— 1 360
				Locomotive à marchandise.					
20	Extérieur	4 670	+ 3 900	— 1 580	+ 2 320	5 320	+ 3 820	— 1 010	+ 2 810
	Intérieur.	7 420	— 1 490		— 1 490	6 950	— 1 390		— 1 390

Les quantités affectées du signe + expriment des poussées vers le dehors de la courbe ou grand rayon.
Les quantités affectées du signe — expriment des poussées vers le centre de la courbe ou petit rayon.

Par un temps de pluie fine ou de brouillard intense le coefficient d'adhérence f pouvant descendre à 0,10, tous les résultats du tableau qui précède sont complètement modifiés.

Avec le dévers de 0,21, la pente transversale de la voie est de 14 0/0, alors que le coefficient d'adhérence sera descendu à 10 0/0; toute la masse de la machine tendra alors à se porter vers le rail intérieur qui aura, dans ces conditions, à supporter des poussées transversales d'autant plus grandes que la vitesse de marche sera plus petite.

Avec un dévers de 0,14, la pente transversale de la voie étant d'environ 9 0/0, quantité un peu moindre que le coefficient minimum d'adhérence, en aucun cas le rail, côté du petit rayon, n'aurait à subir, comme dans le cas précédent, la poussée de toute la masse de la machine qui se répartirait toujours sur les deux files de rails.

Il est important de remarquer, à ce sujet, que la position de l'axe vertical du rail intérieur, des parties en courbes, est beaucoup moins favorable à la résistance au renversement, en dehors de la voie, que celle du rail extérieur.

On voit par les résultats du tableau que, même à la plus grande vitesse et avec un dévers modéré, ce n'est pas la force centrifuge, mais bien l'effort ou poussée transversale de la déviation, exercée par le boudin de la roue d'avant, qui est le plus à redouter pour le renversement du rail extérieur en dehors de la voie et qu'aux petites vitesses, avec le dévers exagéré, le rail intérieur, par suite des surcharges qu'il a à supporter, a plus à souffrir que le rail extérieur.

Effet de la radiation de l'essieu d'avant.

Si on considère maintenant le passage en courbe, dans des conditions atmosphériques ordinaires comme précédemment, de machines dont l'essieu d'avant aura toujours une position radiale normale, quel que soit le rayon de la courbe parcourue, le boudin de la roue se présentant toujours en contact normal sans angle de cisaillement avec le rail, comme dans la marche en alignement droit, le boudin de la roue n'aura aucune tendance à monter sur le rail; de plus, le rail n'aura, dans ces conditions, aucun effort de déviation à exercer pour faciliter le passage en courbe de ce premier essieu, autre que celui dû à l'action t de la force centrifuge et de la pesanteur, d'où il résulte que le fac-

teur $\frac{p}{2}$ L disparaîtra de l'équation donnant la valeur X de l'effort de ripement pour la déviation de l'ensemble de la locomotive : dans ce cas, les différentes valeurs de X, poussée de déviation sur le rail extérieur et de *t* sur les deux files de rails, en vertu de l'adhérence se répartiront comme suit pour l'essieu d'avant :

VITESSE en kilomètres à l'heure	FILE DE RAILS de la COURBE CÔTÉ	DÉVERS DE 0,140 — CHARGES des roues d'avant sur rails	POUSSÉE TRANSVERSALE RÉSULTANT DE LA — force centrifuge et pesanteur	déviation ou ripement	TOTAL	DÉVERS de 0,100 — POUSSÉE totale
80	Extérieur.	7 110	+ 450	+ 2 330	+ 2 780	+ 3 210
	Intérieur.	5 520	+ 450	»	+ 450	+ 450
60	Extérieur.	6 270	»	+ 2 310	+ 2 310	+ 2 740
	Intérieur.	6 270	»	»	»	»
40	Extérieur.	5 670	— 310	+ 2 300	+ 1 990	+ 2 410
	Intérieur.	6 800	— 310	»	— 310	— 310

La locomotive à marchandises ne pouvant avoir son essieu d'avant monté avec des boîtes radiales, il n'y a pas lieu d'établir de calculs à son égard.

Les résultats comparatifs de cette étude sont pleinement justifiés par ceux de l'expérience comparative d'usure de bandages des essieux d'avant donnés plus haut, et affirment les avantages considérables que présente l'emploi des boîtes radiales à l'essieu d'avant des locomotives, sur les boîtes ordinaires à déplacement sans convergence ; pour faciliter le passage en courbe et diminuer la fatigue de la voie. Ils démontrent que la réaction maximum à exercer par le rail extérieur pour opérer la déviation avec un essieu d'avant monté avec boites radiales n'est, avec le dévers normal de 0,140 et une vitesse de 80 *km* à l'heure, que les 0,82, de celle à exercer à la même vitesse avec un dévers de 0,210, l'essieu d'avant étant monté avec boîtes ordinaires, et qu'avec un simple dévers de 0,100, toujours à la même vitesse, la poussée à laquelle aurait à résister le rail extérieur serait moins forte, avec les boîtes radiales, que celle donnée par l'essieu à boîtes ordinaires avec un dévers de 0,210.

C'est donc bien au dispositif du train de roulement des locomotives, et non pas à l'exagération du dévers, qu'il convient de demander, en même temps que la facilité de passage en courbe, une moins grande fatigue de la voie.

La boîte radiale est aujourd'hui passée dans le domaine de la pratique, elle est facilement applicable à la plupart des locomotives à voyageurs existantes. C'est de tous les moyens connus, à ce jour, le plus simple et le plus réel pour faciliter le passage en courbe, et pouvant en même temps compenser avec un dévers normal, ce coefficient de sécurité que MM. les Ingénieurs de la voie ont cru, à tort, à mon avis, trouver dans le dévers exagéré.

Considérations sur l'application des boîtes radiales.

L'application des boîtes radiales aux locomotives, pour donner des résultats satisfaisants, réclame, en dehors de la détermination de l'obliquité de leur trajectoire, qui varie selon le plus ou moins d'écartement des essieux les uns des autres, et de la position intérieure ou extérieure aux roues des fusées de l'essieu auquel on veut les appliquer, l'observation de certains principes.

D'abord qu'il y ait entre les bandages des roues et longerons un espace suffisant pour que l'essieu puisse se déplacer de la quantité nécessaire à l'inscription de toutes les roues de la locomotive dans les courbes du plus petit rayon à parcourir, en comptant sur un jeu maximum de 0,015 dans la voie; que l'empattement des autres essieux soit suffisant pour donner de la stabilité au châssis et obliger l'essieu à boîtes radiales à bien remplir sa fonction de convergence quand il y a lieu ; par conséquent, il faut que les autres essieux n'aient aucun déplacement longitudinal et que l'écartement entre les essieux fixes soit au moins double de celui de l'essieu à boîtes radiales au plus rapproché des essieux fixes, pour les machines à grande vitesse dont les cylindres sont à l'avant de l'essieu à boîtes radiales.

Quand on veut bien tenir compte de ces principes, on obtient une bonne stabilité et des résultats satisfaisants, tels que ceux obtenus :

A la Compagnie du Nord pour toutes les locomotives-tender à six roues accouplées auxquelles elles sont appliquées depuis l'année 1882.

A la Compagnie d'Orléans, ou pour les premières applications faites en 1885 aux locomotives à voyageurs à six roues accouplées et ultérieurement à celles à quatre roues accouplées, j'obtins de faire supprimer le déplacement de l'essieu d'arrière, que cette Compagnie maintient sur toutes ses autres machines.

Si on ne se conforme pas aux conditions nécessaires, on ob-

tient des machines peu stables et des résultats insignifiants, qui permettent de dire que la boite radiale n'a d'autre mérite que de détruire la stabilité des machines.

Les locomotives à voyageurs à trois essieux seulement, dont les cylindres sont extérieurs et placés en avant d'un essieu-porteur à boîtes radiales, et dont le foyer est en porte-à-faux, manquent d'empattement et par suite de stabilité en grande vitesse; cet empattement peut facilement leur être donné et leur stabilité être assurée, de même qu'aux machines à voyageurs à quatre essieux dont on ne veut pas supprimer le déplacement du quatrième essieu, en employant, pour l'attelage de la locomotive et de son tender, les tampons Roy qui font remplir à l'essieu d'avant du tender les fonctions d'un quatrième essieu d'arrière dont on aurait supprimé le déplacement; à condition de ne pas laisser de jeu longitudinal à ce dernier.

Voici ce que le service du matériel et de la traction de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest dit de ces tampons, dans sa notice sur les objets présentés par lui à l'Exposition universelle de 1889 (machine express n° 951) :

« L'attelage entre la machine et le tender se fait à l'aide des » tampons obliques du système Ed. Roy, sans interposition » d'aucun appareil élastique.

» La Compagnie a fait la première application de ce système » en 1884.

» Ces tampons sont en fonte, ceux de la machine ont une sur- » face sphérique dont la cheville d'attelage est le centre, ceux du » tender ont une surface plane inclinée à 50° environ. Cette dis- » position s'oppose au mouvement de lacet en ligne droite, sans » gêner les déplacements relatifs en courbe. »

Bogie radial. — Malgré toutes les bonnes raisons que je viens d'émettre en faveur des boites radiales, je n'hésite pas à déclarer, que l'emploi d'un bogie à glissières, établi suivant le principe des boites radiales, présentera plus de garantie de stabilité, pour les grandes vitesses, que les boites radiales.

La Compagnie du chemin de fer du Nord fit modifier dans ce sens, sur mes indications en 1883, les bogies à pivot, avec faculté de déplacement transversal et ressorts de rappel, de ses locomotives tender, série 3061 à 3075; l'essai fait sur deux locomotives d'abord, ayant donné des résultats plus satisfaisants que les anciens bogies à pivot, seize locomotives de ce type ont toutes un bogie

Roy. Ce genre de bogie n'a ni pivot, ni ressorts de rappel, ni plans inclinés. Voir *Pl. 98, fig. 5, 6* et 7 les dispositions de ce bogie et les diagrammes comparatifs de mouvement des extrémités des essieux et du milieu du châssis d'un bogie, l'un à pivot avec ressorts de rappel, l'autre à glissières radiales.

Pendant les premiers essais, la Compagnie a voulu se rendre compte de la manière dont chaque genre de bogie fonctionnait au passage en courbe; des planchettes furent fixées sur le dessus des boites des essieux de chaque bogie, des porte-crayons sur le châssis de la machine : nous avons obtenu les trajectoires de mouvement de chaque extrémité d'essieu représentées planche 98.

La grande différence entre le mode de fonctionnement de chaque genre de bogie, tient à ce que le bogie à pivot peut prendre un mouvement de lacet propre à lui-même ayant pour point de rotation l'axe de son pivot, sans trop affecter le châssis de la machine, tandis que le bogie Roy, à glissières radiales dont le centre fictif de rotation est situé bien en arrière, étant maintenu par ses deux glissières, assez écartées l'une de l'autre, ne permet pas à l'essieu d'avant, de se porter vers le rail extérieur, tandis que celui d'arrière s'en écarte : les glissières obligent les deux essieux à se déplacer dans le même sens en prenant leur position radiale. De cette liaison des deux essieux du bogie Roy, ne pouvant se mouvoir que dans le même sens, il résulte que, si un obstacle était placé méchamment sur la voie pour faire monter le boudin de la roue d'avant sur le rail et occasionner un déraillement, l'essieu d'avant étant maintenu par son essieu d'arrière, franchirait l'obstacle sans dévier de sa direction et qu'ainsi le boudin de la roue retomberait en dedans de la voie. De plus, l'avant du châssis de la machine est maintenu par le bogie en raison de la direction en V des deux glissières, l'une par rapport à l'autre, sans qu'il soit besoin de les munir de plans inclinés ou de ressorts de rappel.

J'ajouterai que boites radiales ou bogie radial placés à l'arrière sont loin de produire les bons effets de facilité de passage en courbe et de moindre fatigue de la voie qu'ils donnent étant placés à l'avant, j'en ai donné un exemple en parlant de la locomotive-tender de l'État, mise en service sur la ligne de Clermont à Tulle.

Chemins de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure. — L'application la plus complète des boites radiales a été faite en

1887-1888 au chemin de fer à voie de 1 *m* de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure, dont j'ai donné la description dans une communication faite à notre Société en novembre 1888 avec mémoire à l'appui comportant des dessins de détails d'exécution, publiés dans le *Bulletin* de décembre 1888.

Raccord du dévers et des alignements droits avec les courbes.

D'après l'étude sur le passage des locomotives en courbe qui précède, le dévers ne devrait jamais dépasser 1/10 de la largeur de la voie, d'où il résulte que pour la voie normale le dévers maximum serait de 0,150 *m*.

La généralité des services de la voie des grands réseaux français admet que les raccordements du dévers peuvent être faits avec une déclivité relative de 0,002 par mètre, entre les deux files de rails, ce qui conduit à une longueur de raccord de 75 *m* pour le dévers maximum de 0,150 de la voie normale et à 50 *m* pour voie de 1 *m*.

En général, d'après les instructions données au personnel de la voie sur les différents réseaux français, le raccordement doit être fait sur l'alignement droit, afin d'être complet à l'arrivée au point de tangence, à l'origine de la courbe ; mais lorsque la longueur de l'alignement compris entre deux courbes de sens inverse, ne permet pas d'établir les deux raccordements auxquels il correspond, dans sa longueur, étant donné qu'entre deux raccords successifs il est nécessaire de laisser une partie de rails dans le même plan sur une longueur minimum de 10 à 15 *m*, les instructions disent que le raccordement pourra être fait partie sur la droite et partie sur la courbe.

Cette tolérance est assez singulière, car elle est essentiellement contraire au principe du dévers, attendu que s'il est un point où il soit nécessaire, c'est bien à l'entrée de la courbe, quand va se faire le changement brusque de direction de la machine, passant de la ligne droite immédiatement dans le rayon minimum de courbure qu'elle va avoir à parcourir, il se produit un choc que les boites ordinaires à déplacement avec plans inclinés à l'essieu d'avant diminuent dans une certaine mesure, mais qu'un raccordement parabolique atténuerait encore mieux tout en permettant de toujours établir le raccord du dévers en partie sur la ligne droite et en partie dans la courbe, présentant ainsi une décrois-

sance de rayon de courbure, à l'entrée en courbe, en quelque sorte proportionnelle avec l'accroissement du dévers jusqu'à l'arrivée au rayon minimum de courbure à parcourir ; ainsi se trouveraient, en même temps, complétés le dévers correspondant à ce rayon de courbure avant de l'aborder, et la réduction des chocs à l'entrée en courbe aussi bien des locomotives que des voitures et wagons.

Dans les conditions actuelles d'établissement des locomotives, le rachat du dévers par une déclivité relative de 0,002 par mètre entre les deux files de rails est très admissible, mais ne saurait être dépassé sans inconvénient. Si on considère une locomotive dont l'écartement des essieux extrêmes est de 5,80 *m*, la distance de l'essieu d'avant à la verticale passant par le centre de gravité de la machine est un peu moindre de 3 *m ;* admettant cette distance, pour faire une large approximation, l'inclinaison transversale du châssis de la machine, dans le parcours du raccordement, est celle correspondante à l'inclinaison transversale de la voie au droit du centre de gravité, et l'inclinaison transversale de la voie sous les roues de l'essieu d'avant sera $\pm$ 3 *m* $\times$ 0,002 relativement à celle correspondante au centre de gravité et, par suite, du chassis : la flexibilité par tonne des ressorts de suspension des locomotives étant, en général, de 0,006 à 0,007 par tonne, si l'essieu d'avant a ses fusées à l'intérieur des roues, l'écartement de milieu à milieu des fusées étant en moyenne de 1,10 *m*, la flexion qu'aura à subir l'un des ressorts sous la pression qu'exercera le châssis sur lui sera $\frac{1.10}{1.50} \times 0,006 = 0,0044$; si ces fusées sont extérieures aux roues avec un écartement moyen de 1,90 *m* de milieu à milieu des fusées, cette flexion sera $\frac{1,90}{1,50} \times 0,006 =$ 0,0076, soit, dans le premier cas, une surcharge sur l'une des fusées de 730 *kg* et, dans le second, de 1 260 *kg*, avec cette circonstance aggravante pour l'essieu d'avant ayant ses fusées en dehors des roues, c'est que cette surcharge tendra à soulever la roue de l'autre fusée, ce qui n'a pas lieu avec les fusées intérieures aux roues.

Il est donc prudent de s'en tenir à une déclivité relative de 0,002 par mètre entre les files de rails dans les raccordements du dévers. Mais il ressort de ce qui précède que les effets de cette déclivité relative sont beaucoup plus à craindre pour les machines

dont l'essieu d'avant a ses fusées en dehors des roues, que pour celles où ces fusées sont à l'intérieur.

Les uns prescrivent que cette déclivité relative soit faite exclusivement sur la file correspondante au grand rayon; les autres, qu'elle soit faite moitié sur chaque file; il me semble que ces derniers ont raison, parce que cette disposition ne réclame aucun raccord supplémentaire à cette déclivité au commencement et à la fin du raccordement, et qu'elle ne change rien au volume de ballast nécessaire par mètre courant.

Aussi bien, il est un moyen simple de ne jamais avoir à craindre les effets du rachat du dévers et d'avoir toujours sensiblement des charges égales sur les deux fusées de l'essieu d'avant : c'est de mettre un balancier transversal reliant entre elles une des extrémités des deux ressorts de cet essieu ; c'est ce que j'ai dû faire et dont je me suis très bien trouvé pour l'essieu à boîtes Roy des locomotives du chemin de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure, où le rachat des dévers est fait avec une déclivité relative de 0,004, voire même sur quelques points de 0,005 dans les nombreux points de cette ligne où l'alignement droit entre deux courbes de sens inverse descend au-dessous de 50 *m*; sur ma recommandation, la Société des Chemins de fer Économiques a appliqué cette disposition aux essieux à boîtes Roy à ses locomotives d'un type analogue à celles de La Mure; ces machines qui, avant cette modification, déraillaient assez fréquemment lorsqu'on voulait les faire marcher cheminée en arrière, se comportent bien aujourd'hui quel que soit leur sens de marche ; la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, dont la déclivité relative du rachat du dévers ne dépasse pas 0,002, l'applique depuis assez longtemps à des locomotives à voyageurs dont l'essieu d'avant a ses fusées en dehors des roues: c'est une disposition si simple à adopter qu'elle devrait être prescrite, non seulement à cause de la sécurité qu'elle présente pour n'avoir pas à trop se préoccuper de la déclivité du rachat du dévers, mais encore pour éviter des déraillements dans les parties de voies humides ou sur grands remblais où des dénivellations accidentelles, inégales sur chaque file de rails, peuvent se produire et occasionner des déraillements en pleine voie, sans que l'on sache au juste à quoi en attribuer la cause ; car il n'est pas toujours facile, dans ce cas, de la reconnaître après l'accident.

On peut répéter ici la même conclusion que celle qui est ressortie de l'étude et des expériences sur les boîtes radiales.

C'est donc bien au dispositif du train de roulement des locomotives, et non pas à l'exagération de la longueur du raccordement du dévers, qu'il convient de demander, en même temps que plus de sécurité pour franchir ces raccordements, une sécurité non moins importante pour le cas de défaillances accidentelles dans l'assiette de la voie.

Raccordement parabolique. — Le Congrès international des chemins de fer de 1892, dans ses conclusions sur la 9e question, *Passage dans les courbes*, recommande l'application des raccordements paraboliques, pour éviter les changements brusques de direction. C'est là en effet, ainsi que je viens de l'indiquer, l'objet et la raison d'être principale des raccordements paraboliques ; mais il ajoute à sa recommandation : « Il est désirable que la solution » adoptée soit d'un emploi simple et puisse uniformément s'appliquer à tous les chemins de fer, quelles que soient la largeur » de la voie et les conditions du tracé ».

Cette réserve sur la simplicité du moyen à employer semble vraiment justifiée par le volumineux mémoire présenté à ce sujet au Congrès de 1892 par M. de Leber, qui prétend marier, d'une manière en quelque sorte indissoluble, le raccordement parabolique avec le rachat du dévers, à l'aide de barèmes nombreux dont ne saurait s'accommoder la pratique ; va jusqu'à admettre des rachats de dévers avec une déclivité relative des rails de 0,006, et pose en principe que, pour pouvoir circuler à 30 *km* à l'heure sur une pente de 0,025, il faut que le rayon minimum des courbes ne soit pas inférieur à 190 *m* ; que pour pouvoir circuler à 20 *km* à l'heure dans des courbes de 150 *m* de rayon, il ne faut pas que les pentes dépassent 0,015. En présence de ce qui se fait journellement, de telles données sont très contestables.

La détermination d'un raccordement parabolique est assez compliquée par elle-même sans qu'on y ajoute des considérations d'un tout autre ordre, tel que le rachat du dévers qui peut s'opérer, et qui est opéré, en général, jusqu'à ce jour sur les alignements, par un simple coup de nivelette entre l'origine et la fin de la pente.

Si, sans trop se préoccuper du mariage de ces deux conditions à adopter pour les entrées en courbe, on peut les faire concorder l'une avec l'autre, rien de mieux, mais aucun motif sérieux ne le rend obligatoire. J'ai cherché à me rendre compte, et tâché de répondre aux *desiderata* du Congrès en étudiant la question d'après les méthodes de MM. Chavès, de Nordling et Gambier.

Il n'y a qu'un mode de raccordement parabolique pratique, dans l'état actuel des chemins de fer, c'est celui qui peut s'appliquer, sur les lignes existantes, sans avoir aucune modification à apporter à la plate-forme de la voie, à l'aide d'un simple ripage de la voie à l'entrée et à la sortie des courbes, permis par la largeur de la plate-forme, ne changeant rien à la position de l'alignement et de la courbe, et ne réclamant pas, au point le plus dévié de la courbe, un déplacement de la voie de plus de 0,200 *m*. Ce mode se rattache à la méthode de M. de Nordling, mais l'arc parabolique de raccordement proposé ici, au lieu d'être établi 1/3 sur l'alignement droit et 2/3 sur l'arc de cercle, est établi 4/10 sur l'alignement et 6/10 sur l'arc de cercle, pour arriver à avoir une moindre différence entre le rayon de courbure de la parabole et celui de l'arc de cercle à leur point de raccordement ; en ce point, les deux tangentes à chacune des deux courbes à leur point de contact, font entre elles un très petit angle variant, pour les données qui suivent de 1/2 à 1°, à corriger par un léger coup de pouce sans avoir à rechercher et à procéder à une opération minutieuse, pour établir un arc de cercle supplémentaire de raccordement entre la parabole et l'arc de cercle de la courbe, comme dans la méthode Gambier ; coup de pouce dont il n'y a pas lieu de s'effrayer, car il ne dépasserait pas, dans les limites du mode de raccordement parabolique proposé, 0,015 à 0,020, quantités insignifiantes en opérations sur le terrain, quand elles n'ont pas de répercussion sur un prolongement de tracé.

Le dévers maximum des courbes étant admis comme devant être 1/10 de la largeur de la voie ;

soit pour voie normale 0,150

La déclivité relative des rails dans la partie faisant le rachat du dévers étant de. 0,002

la longueur du rachat du dévers $\frac{0,150}{0,002}$ . . . . 75 *m*

Pour la voie de 1 *m*, le dévers maximum étant de . 0,10

la longueur du rachat du dévers serait $\frac{0,10}{0,002}$. . . . . . 50 *m*

La longueur de la portion de tangente du raccordement parabolique, prise sur l'alignement droit étant, d'après l'indication qui précède, 4/10 de sa longueur totale, sera pour le cas présent égale à . . . . $0,40 \times 75 = 30$ *m*

et celle prise sur la longueur de la courbe. $0,60 \times 75 = 45$ *m*.

Tant que le rayon de la courbe permettra d'établir le raccordement parabolique dans les conditions ci-dessus avec une tangente

de 75 *m* de longueur, on pourra donc faire concorder le rachat du dévers avec le raccordement parabolique.

Lorsque, par suite de la réduction du rayon de la courbe et la condition de ne pas avoir un déplacement maximum de la voie de plus de 0,20 *m*, ce raccordement ne pourra plus avoir 75 *m* de longueur pour la voie normale, et 50 *m* pour la voie de 1 *m*, la longueur nécessaire au rachat du dévers à partir du point de rencontre de la parabole et de la courbe sera complétée sur l'alignement droit.

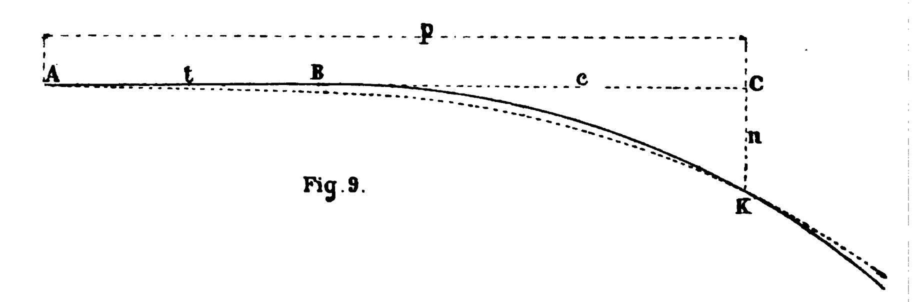


Fig. 9.

AC, tangente à la courbe.

B, point de tangence de la courbe.

A, point de tangence de la parabole.

BC, longueur de la tangente de la portion de la courbe à modifier $= c$.

AB, distance de l'origine de la parabole au point de tangence de la courbe $= t$.

$t + c = p$, longueur de la tangente du raccordement parabolique.

CK $= n$, ordonnée de l'arc de cercle au point K dont l'abscisse $=$ BC.

$t = 0{,}40\,p$ et $c = 0{,}60\,p$.

De la formule $C^2 = 2Rf - f^2$ simplifiée $C^2 = 2Rf$, dans laquelle C correspond à BC et n à f,

on a :
$$n = \frac{C^2}{2R}.$$

Dans la pratique, cette valeur de n est suffisamment exacte jusqu'à $BC = \frac{R}{8}$; au delà, déterminer n par sa valeur réelle :

$$f = R - \sqrt{R^2 - C^2}.$$

La voie étant posée, le plus simple est de tracer la tangente BC

et de mesurer sur le terrain, l'ordonnée $CK = n$ en prenant le point K au joint de deux rails qui détermine C et $p = \frac{C}{0,60}$.

Pour une parabole cubique, les ordonnées étant proportionnelles au cube de leurs abscisses respectives, on a pour un point intermédiaire quelconque :

$$y = \frac{n . x^3}{p^3}.$$

Divisant p en un nombre de parties égales;

Faisant p = au nombre total N des divisions que l'on peut faire $= 10$ pour simplicité des calculs;

Les différentes valeurs de y, à chaque point de division, seront $= \frac{n}{N^3} \times$ par le cube des nombres successifs 1, 2, 3, etc. Ce sont là des calculs simples pouvant être faits sur le terrain sans le secours d'aucun barème.

Pratiquement le rayon de courbure R′ de la parabole en un point quelconque peut être considéré comme suffisamment exact par la formule $R' = \frac{p . R}{x}$, qui donne pour le point K, $R' = \frac{p . R}{p}$ et $R' = R$.

Pour que cette dernière valeur fût plus exacte, il faudrait que

$$C = \frac{p}{\sqrt{3}} = \frac{p}{1,732};$$

tandis que selon la base posée $C = \frac{p}{1,667}$.

C'est une solution simple et pratique et non absolument mathématique, qui est proposée ici; c'est pourquoi j'indique un rapport en chiffre rond 2 : 3 entre les portions de la tangente du raccordement parabolique de chaque côté du point de tangence de la courbe.

Appliquant ces données, èt à titre de renseignements, sur les différentes longueurs maximum qu'il convient de donner à la tangente p du raccordement parabolique pour que le déplacement le plus fort de la courbe normale ne dépasse pas 0,20, j'ai obtenu les résultats ci-après :

RAYON DES COURBES	LONGUEURS DES TANGENTES			RIPAGE MAXIMUM DE LA VOIE	VITESSE MAXIMUM de MARCHE NORMALE des trains
	c	l	p		
m	m	m	m		km
600	45	30	75	0,180	85
500	45	30	75	0,210	80
400	39	26	65	0,200	70
350	36	24	60	0,190	66
300	33	22	55	0,190	60
250	30	20	50	0,190	56
200	27	18	45	0,190	50
150	21	14	35	0,160	43
100	15	10	25	0,120	35

Les différentes valeurs de C et par suite celles de *p* qu'elles servent à déterminer ne sont pas absolues ; elles peuvent varier, soit un peu en plus, soit en moins, selon la position du joint des rails, recommandée de prendre, au point de vue pratique, pour point de raccordement de la parabole et de la courbe.

Pas n'est besoin de se préoccuper que l'origine de la parabole sur l'alignement corresponde à un joint de rail, parce que de ce côté les déplacements de joints à opérer sont très faibles.

Ce tableau indique, qu'au-dessous de 500 *m* de rayon le raccordement parabolique ne pouvant plus avoir 75 *m* de longueur, il faudra pour un dévers de 0,150 *m* (voie normale), que la pente du rachat du dévers commence sur l'alignement pour pouvoir se terminer à la fin du raccordement parabolique.

Pour la voie de 1 *m* dont le dévers maximum serait de 0,10 *m*, il en serait de même pour les courbes de rayons inférieurs à 200 *m* dont les raccordements paraboliques ne doivent pas avoir plus de 40 à 50 *m* de longueur.

Les données de ces raccordements paraboliques conduiraient, pour avoir un rachat complet du dévers au point de raccordement de la parabole et de l'arc de cercle, avec une déclivité relative des deux files de rails de 0,002 *m* par mètre, et un intervalle de 8 à 10 *m* entre l'origine de deux dévers successifs, à un alignement droit maximum entre deux courbes de sens inverse.

Pour dévers de 0,150 *m* :

Courbes de 500 *m* de rayon et au-dessus, de . . . . . 70 *m*

Courbes de 500 *m* de rayon et au-dessous, jusqu'à 200 *m*, en augmentant progressivement, de . . . . 105 *m*

Pour dévers de 0,100 *m* :

Courbes au-dessous de 200 *m* de rayon, de . . . 50 à 60 *m*

La réduction de longueur des raccordements paraboliques en même temps que celle du rayon des courbes est en concordance avec celle des vitesses maximum de marche normale des trains dans les courbes qu'il convient d'admettre et, par suite, ne saurait présenter d'inconvénients.

C'est dans la courbe à 0,20 *p*, à partir de son point de tangente et à 0,60 *p* de l'origine de la parabole que, pour les raccordements paraboliques établis suivant les données qui précèdent, se trouve le déplacement maximum à faire subir à la voie.

Quelle que soit la vitesse de marche des trains, le raccordement parabolique a toujours sa raison d'être pour faciliter l'entrée d'un véhicule quelconque en courbe; il convient donc, pour la simplicité et la pratique de son application, qu'il soit sensiblement constant pour un même rayon ; c'est ce que j'ai cherché à obtenir en me tenant dans la limite du déplacement maximum que peut subir la voie; sur sa plate-forme existante, sans rien changer à la position de l'alignement et de la courbe.

Réduction de résistance au passage en courbe à l'aide du mode d'attelage des voitures.

Les expériences relatées au commencement de ce mémoire, concernant la position naturelle que prend un véhicule à essieux parallèles, dans une courbe, démontrent, que le boudin de la roue de l'essieu d'avant s'appuie constamment contre le champignon du rail, côté du grand rayon, tandis que celui de la roue de l'essieu d'arrière tend à se rapprocher du rail, côté du petit rayon, jusqu'à ce que l'essieu d'arrière prenne une position radiale normale à la courbe parcourue, si le jeu de la voie le permet.

Dans ces conditions, l'axe du châssis de la voiture prend une position correspondant à la direction de la corde d'un arc, de la courbe parcourue, double de l'écartement des essieux, au lieu de celle correspondant à la direction de la corde d'un axe de longueur égale à l'écartement des essieux, qui serait la meilleure, parce qu'elle présenterait l'angle minimum de cisaillement du boudin de la roue d'avant avec le rail.

D'après ce résultat, si on considère une série de plusieurs voitures attelées l'une à l'autre avec le mode d'attelage ordinaire, qui leur permet, au passage dans une courbe, de prendre leur position de tendance naturelle ; les axes des châssis auront, l'un

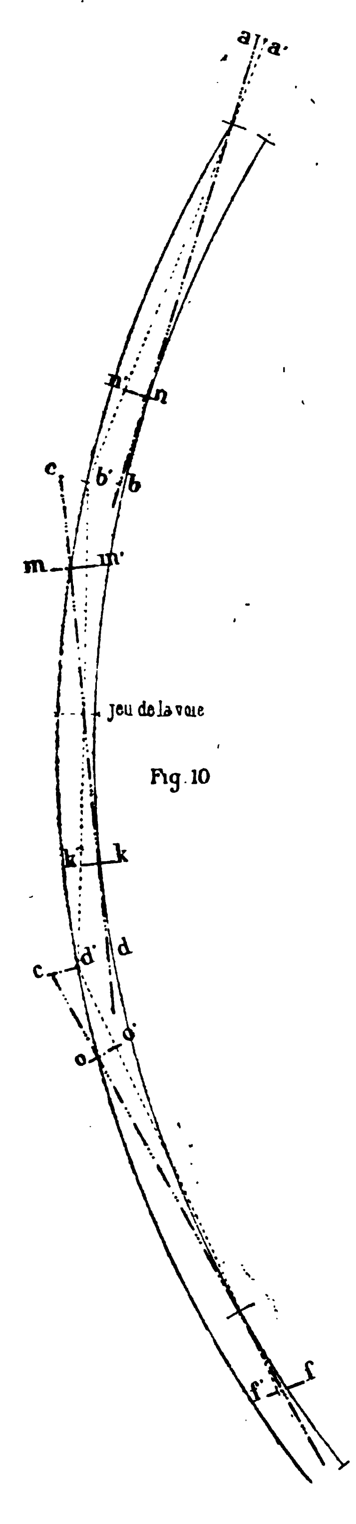


Fig. 10

par rapport à l'autre la position indiquée dans la figure ci-dessous. 1re voiture *ab* — 2e *cd* — 3e *ef*.

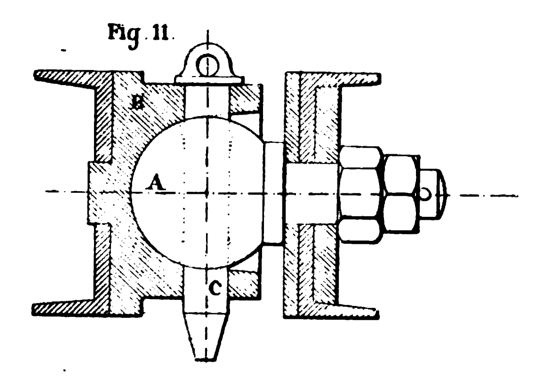
On conçoit facilement, que si au lieu de l'attelage ordinaire, permettant aux axes des voitures de prendre, d'une manière plus ou moins accentuée, les positions *ab* — *cd* — *ef*, la deuxième voiture était attelée, ou mieux dit, accouplée avec la première et la troisième par un attelage central donnant une solidarité transversale absolue à ces trois châssis, sans gêner l'inflexion que chacun d'eux doit prendre, par rapport, à l'autre au passage en courbe; il en résultera, par suite de la tendance des roues des essieux arrière à se porter vers le rail intérieur, contrariant celle de l'essieu avant de la voiture qui suit à se porter vers le rail extérieur, que les axes des châssis des trois voitures seront amenés à prendre les positions *a' b'* — *b' d'* — et *d' f'* et que les boudins des roues des essieux *n* — *m* — *k* — *o* seront ramenés vers les positions *n'* — *m'* — *k'* — *o'* ne touchant ni au rail intérieur ni au rail extérieur. C'est ce que nous a donné l'expérience en marche lente, faite devant notre Société et plusieurs Ingénieurs en chef du matériel, et de la voie; c'est donc une certitude qu'en marche normale des trains, la résistance due au frottement des boudins des roues de ces quatre essieux contre les rails,

serait pour ainsi dire nulle. Si, au lieu d'un groupe de trois voitures on en considérait quatre, six essieux sur huit seraient soustraits à l'influence du cisaillement.

J'ai résolu et mis en pratique, depuis longtemps, la solidarité transversale des châssis de voitures, par mon système d'attelage central du matériel roulant du chemin de fer de Saint-Georges-de-Commiers à La Mure (voir *Bulletin* de la Société des Ingénieurs civils, décembre 1888) et par mon système d'attelage de locomotive et de tender dont j'ai déjà parlé.

Ces deux types d'attelage, créés en vue de combattre le mouvement de lacet, et de faciliter l'inscription normale des véhicules dans les courbes, répondent parfaitement aux fins que je m'étais proposé d'atteindre : mais ils ne constituent pas un accouplement complet des châssis, permettant de pouvoir former, avec plusieurs voitures ordinaires, telles que celles employées par nos Compagnies pour leurs trains rapides; de grandes voitures offrant aux voyageurs le même confort que les grandes voitures à bogies construites depuis quelques années par les Compagnies françaises, qui présentent le grave inconvénient d'être très lourdes, par unité transportée.

C'est dans cet ordre d'idée que j'ai imaginé le mode d'attelage et d'accouplement central ci-dessous (*fig. 11*).



C'est un tampon sphérique A qui est engagé exactement dans un boisseau à fond hémisphérique B, attelés l'un à l'autre par la broche C qui les traverse tous les deux et dont l'axe passe par le centre de la sphère ; ils sont fixés sur les traverses de têtes dans l'axe du châssis, l'un à une extrémité, l'autre à l'extrémité opposée.

Cette disposition permet l'intercalation et l'interchangibilité rapide des voitures intermédiaires entre deux voitures ayant chacune à une extrémité l'attelage ordinaire ; elle laisse à chaque voiture la faculté de prendre toutes les inflexions transversales et longitudinales réclamées par le plan, le profil de la voie et les variations d'inclinaison dues au rachat du dévers aux entrées et sorties des courbes ; elle maintient les planchers en concordance constante, évite leur disjonction et les secousses qui se manifestent parfois assez violemment aux extrémités des châssis, au passage des roues sur les joints des rails et les croisements de voie.

L'installation de l'intercommunication entre des voitures ainsi accouplées devient très simple et ne réclame pas l'emploi de soufflets encombrants, comme ceux employés pour les voitures du service des postes et télégraphes qui rendent l'attelage assez long et mal commode, attendu que cet accouplement permet de ne laisser qu'un espace de 0,20 à 0,25 *m* entre les traverses de tête et que l'attelage est encore plus simple et plus rapide que le mode d'attelage ordinaire.

Ce rapprochement entre les caisses des voitures donne lieu à une amélioration très importante pour la marche des trains à grande vitesse, celle de réduire dans une très grande proportion la résistance de l'air et du vent de direction opposée à la marche des trains.

On conçoit aisément que, les caisses des voitures n'étant plus distantes les unes des autres que de 0,20 à 0,25 *m*, il devient facile d'établir la continuité des faces extérieures longitudinales de ces caisses, et de réduire, en ce faisant, dans une grande proportion, le nombre de faces transversales de tête des voitures subissant l'action de la résistance que l'air et le vent opposent à la marche des trains, résistance qui s'accroît dans des proportions d'autant plus grandes que la marche des trains est plus rapide.

CONDENSEUR A JET

OU

TROMPE-CONDENSATION

POUR MACHINES A VAPEUR

PAR

M. LENCAUCHEZ

Lorsque l'injecteur Giffard eut fait ses preuves en 1859 et 1860, un grand nombre d'Ingénieurs cherchèrent à en multiplier les applications en modifiant au besoin son mode de fonctionnement. C'est ici le cas de rappeler les travaux de feu M. Bourdon père.

En 1866, j'ai fait avec M. Bauret quelques timides tentatives de condensation par jet d'eau chez MM. de Wendel à Hayange ; pour assurer la continuité du jet, nous avions installé un réservoir régulateur à 4 ou 5 *m* de hauteur au-dessus de notre trompe-condenseur, de façon que lorsque les coups d'échappement désamorçaient l'appareil, la chute ou charge d'eau le réamorçait immédiatement. Les chocs accusaient à chaque instant des pressions de 1,25 *atm* puis un vide 0,15 *atm* = une pression de 0,11 *m* à 0,12 *m* de mercure au-dessus du vide absolu. Comme il nous fallait une pompe pour élever l'eau à 5 *m* en l'aspirant à 3 *m*, ce qui, avec ses résistances passives, équivalait au travail nécessaire pour élever à 10 *m* toute l'eau de condensation, on trouva cette trompe-condenseur peu intéressante et on la laissa de côté ; il n'en fut donc plus question pour nous.

En 1867, le même problème fut repris par M. Alexandre Morton, de Glasgow, qui, bien certainement, n'avait jamais entendu parler de nos travaux, car ils n'avaient reçu aucune publicité, et c'est ici que j'en parle pour la première fois. La première disposition de M. Morton (1867) consistait en une tuyère centrale d'eau entourée d'une tuyère annulaire d'amenée de vapeur d'échappement. En 1869, M. Morton ajouta à son appareil un dispositif faisant varier, par le régulateur, les positions respectives des tuyères, afin de proportionner, suivant les besoins du vide, les arrivées d'eau à celles de la vapeur : à cette époque, le condenseur Morton acquit une grande renommée,

L'idée de faire fonctionner les machines à condensation sans

pompe à air parut très séduisante, à tel point que, par un acte, le Parlement anglais augmenta de sept ans la durée du brevet Morton (Patent) ; cependant, le condenseur Morton reçut peu d'applications, attendu qu'il réclamait une pompe d'élévation pour fonctionner en charge ; enfin il fut oublié.

En 1872, M. Kœrting reprit l'idée de M. Morton et construisit un condenseur à jet avec double amenée de vapeur ; c'était aussi un appareil fonctionnant avec une charge d'eau.

Mais plus tard M. Kœrting remarqua qu'un condenseur réclamant une pompe d'élévation entrerait difficilement dans la pratique industrielle, vu que les usiniers diraient : « *Pompe pour pompe, autant la pompe à air traditionnelle.* Il fit alors, vers 1882, des recherches théoriques et pratiques ayant pour but d'assurer la marche de la trompe de condensation, même en lui faisant aspirer son jet réfrigérant condenseur. M. Kœrting arriva à obtenir dès cette époque d'assez bons résultats et son condenseur à jet fut adopté par M. Schülte, de Philadelphie (États-Unis), qui, de son côté, en a amélioré la construction.

En 1886, M. Schülte construisit des trompes de condensation *à tige mobile rappelant l'aiguille des premiers injecteurs Giffard.*

Enfin, en 1891, M. Kœrting a apporté à ses appareils ses derniers perfectionnements, qui en ont fait un condenseur dit universel. Dans cet appareil tout a été calculé et fait en vue d'obtenir le maximum d'effet utile ; l'eau y entre avec une vitesse uniformément accélérée, pour atteindre son maximum de vitesse qui est de 13 *m* à 13,80 *m* par seconde pour un vide variant entre 0,650 *m* et 0,720 *m* de mercure avec une dépense de 25 *l* ou kilogrammes d'eau pris entre + 12° et 15° par kilogrammes de vapeur à condenser.

M. E. Kœrting a eu aussi à tenir compte des gaz (air) dissous dans l'eau que le vide partiel met en liberté ; pour cela, s'inspirant de la théorie des béliers hydrauliques, il a donné au tuyau d'amenée d'eau au condenseur une certaine longueur, pour que la force vive de la colonne d'eau en mouvement, en amont, expulse la colonne d'eau d'aval, malgré la détente des gaz, qui peut en réduire la densité à 0,60, à 0,55 et même à 0,50 avec certaines eaux plus ou moins gazeuses.

Cette force vive permet aussi au jet condenseur de vaincre les résistances dues à tous les coups d'échappement, en assurant à l'appareil une bonne marche, avec de faibles variations de vide, comme pour les condenseurs à pompes à air.

La trompe de condensation ou condenseur à jet, comme tous les appareils basés sur le même principe, réclame de l'eau claire, car ses très nombreux ajutages et tuyères seraient très rapidement engorgés par l'eau chargée d'herbes, etc.

La mise en marche du condenseur universel réclame un amorçage particulier, et comme il doit fonctionner avant que la machine qu'il dessert n'entre en mouvement, un petit injecteur lui est adjoint et fait corps avec lui; il fait partie du tout composant l'appareil. A la mise en marche, on donne la vapeur vive au condenseur et le courant d'eau réfrigérante de condensation s'établit; dès que ce courant est assuré, on met en route la machine, et dès qu'elle a pris son régime normal, on ferme le robinet de vapeur vive devenu inutile.

Pour les grandes variations de dépense de vapeur, M. Kœrting a dû recourir à une tuyère mobile d'un genre particulier, qui diminue le nombre des orifices d'introduction de vapeur, quand le poids d'échappement diminue et qui augmente le nombre de ces orifices quand l'échappement augmente, c'est-à-dire quand la machine développe un plus grand travail. C'est au moyen d'un levier de manœuvre, avec secteur, que l'on met au point voulu la tuyère en regardant l'indicateur du vide. Mais cette manœuvre pourrait se faire mécaniquement; en effet, un puissant régulateur actionné par le vide, ayant à vaincre la résistance d'un ressort antagoniste (avec vis de rappel et de réglage), mettrait toujours au point voulu la tuyère; de même une dynamo pourrait aussi actionner la tuyère, ses courants pouvant être lancés en avant et en arrière par un contact électrique manœuvré par l'aiguille de l'indicateur du vide, pour deux positions extrêmes déterminées.

Il faut aussi noter un clapet de retenue, interposé entre la machine et le condenseur, afin qu'aux arrêts, ce clapet, en se fermant, s'oppose à ce que l'eau puisse arriver jusqu'à la machine où elle pourrait donner des coups d'eau.

Quand le condenseur à jet se place dans le voisinage d'une chute, il peut être en charge sans pompe d'élévation d'eau et n'a pas besoin d'un amorceur à jet de vapeur vive.

Si la chute est insuffisante, les appareils de réglage et d'amorçage sont indispensables, mais les désamorçages sont beaucoup plus rares et la tuyère mobile ne se manœuvre pas souvent.

Description sommaire des appareils.

Condenseur en charge ou trompe de condensation en charge par

chute d'eau naturelle ou artificielle. — Dans ce dernier cas, une pompe ordinaire élève l'eau dans un réservoir placé à 4, 6 ou 10 *m* au-dessus de l'appareil, qui fonctionne toujours très bien, sans qu'il y ait lieu de s'en occuper : la seule précaution à prendre est de faire débiter à l'appareil le maximum d'eau correspondant au maximum du poids de vapeur d'échappement, à raison de 20 *kg* d'eau par kilogramme de vapeur à condenser.

Ce condenseur dit universel peut se placer partout, il marche même en aspirant son eau de condensation.

Il peut aussi faire siphon à deux branches inégales, la petite branche étant celle d'amont et la grande étant celle d'aval.

Le clapet, comme il a été dit plus haut, se place entre la machine et le condenseur; c'est un clapet de sûreté pour le cylindre à vapeur, puisqu'il évite le danger des coups d'eau dans la machine.

Installation d'un condenseur vertical avec charge naturelle ou artificielle : cet appareil est vu en coupe *(fig. 1)*.

Fig. 1

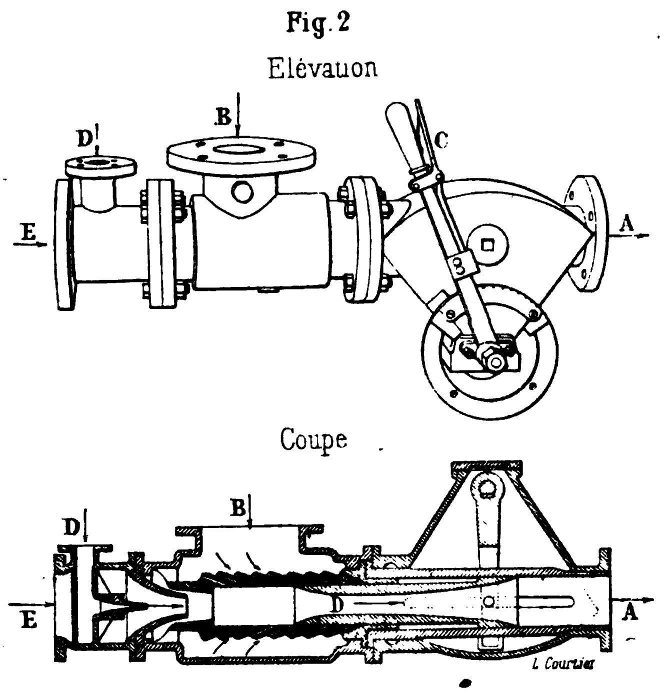
E Eau en charge.
V Échappement de la vapeur.
S Sortie de l'eau de condensation.

Comme il est facile de le voir, il ne peut jamais se désamorcer, étant réglé pour le travail maximum de la machine, à raison de 20 *kg* d'eau par kilogramme de vapeur ; naturellement si la machine ne fait que la moitié de sa force, le tiers ou le quart, on a un excès d'eau avec un très bon vide.

Le condenseur représenté figure 2 est à tuyère mobile et, comme on le voit ici, il prend son eau par aspiration en amont pour la rejeter en aval; plus l'aval sera bas, mieux l'appareil fonctionnera.

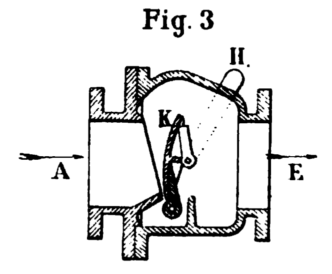
Le condenseur en charge installé comme le fait voir la figure 4, présente de grands avantages, même lorsque son installation réclame une pompe d'élévation d'eau de condensation, attendu que cette pompe n'a qu'à élever l'eau à 3 ou 4 *m* au-dessus de l'appareil : si la même machine avait un condenseur avec pompe à air et si l'eau était à une grande profondeur, soit à 6 *m* et au delà, la même pompe serait toujours indispensable ; il est vrai que son

travail serait un peu moins considérable ; mais, par contre, la pompe à air du condenseur, qui prend l'eau et les gaz sous pression de 1 *m* à 1,25 *m* (d'eau) au-dessus du vide absolu, doit com-



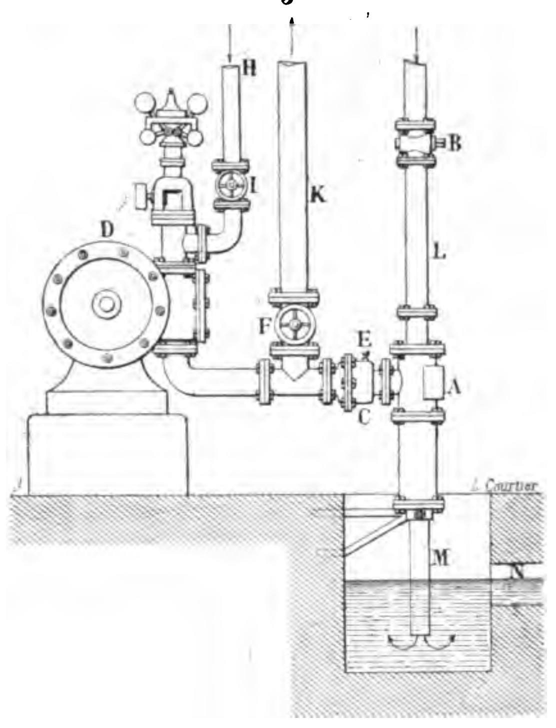
Vue d'un condenseur universel.

primer ces gaz dilatés qui occupent un volume égal à celui de l'eau, à la pression de 10,33 *m* + 0,67 *m* = 11 *m* (0,67 *m* représentent la surcharge des clapets et de la bâche), puis expulser eau et gaz dans l'atmosphère ; c'est donc une élévation d'eau à 11 *m* — 1 *m* = 10 *m*, plus la compression des gaz ; travail bien supérieur à celui d'une simple pompe qui peut, dans beaucoup de cas, n'avoir en aspiration et en refoulement qu'une hauteur totale de colonne d'eau que de 5 *m*. Il y a donc là une grande économie en frais d'installation, ainsi qu'une notable économie sur le travail résistant, qui peut être réduit à 1/2 et même au 1/3 de celui d'une pompe à air ordinaire en bon état de service.



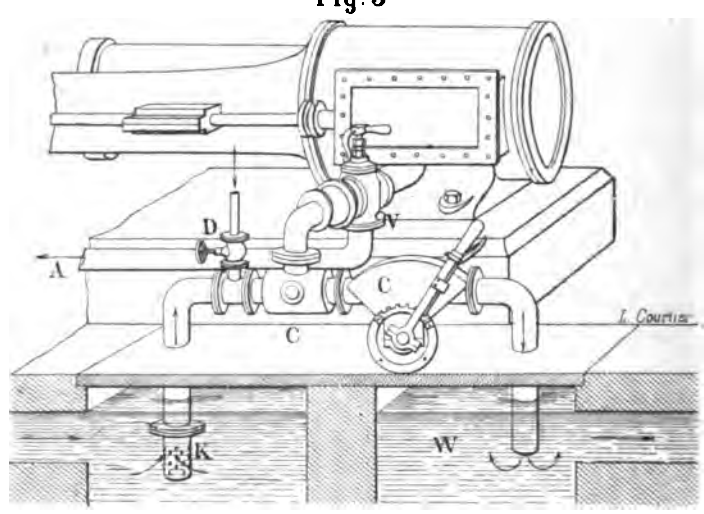
Coupe d'un clapet de retenue avec arrêt de clapet.

Fig. 4



Montage d'un condenseur à jet d'eau avec l'eau en charge.

Fig. 5



Montage d'un condenseur universel sur une machine horizontale.

Pour les machines de grande puissance et à grande vitesse, *la trompe de condensation* peut donc rendre de grands services. En effet l'économie de 15 0/0, que réalise la marche à condensation combinée avec celle que peut procurer le réchauffeur d'eau d'alimentation donne une économie totale théorique de 15 + (100 − 86) = 29 0/0 qui, en bonne pratique industrielle, ne saurait descendre au-dessous de 25 0/0.

Le condenseur universel *(fig. 5)* peut rendre aussi de grands services, surtout si les variations de puissance ne sont pas trop grandes et trop souvent répétées, en d'autres termes, s'il s'applique à une machine à vapeur dont la marche n'est pas par trop saccadée ; du reste il n'est nullement impossible de le faire gouverner par le régulateur et par les variations du vide relatif que donne la marche irrégulière de la machine : par marche irrégulière, il faut entendre ici les variations d'efforts, de résistance aussi bien que de vitesse, que le service de certaines machines leur impose, tel, par exemple, que celui des laminoirs.

La maison de MM. Kœrting a installé, actuellement, près de mille condenseurs des deux types ci-dessus indiqués; mais une liste des 68 dernières installations, donne 47 appareils fonctionnant en charge et 21 en aspiration plus ou moins grande ; chose remarquable, c'est que 20 de ces 21 sont les derniers de la liste par ordre de date.

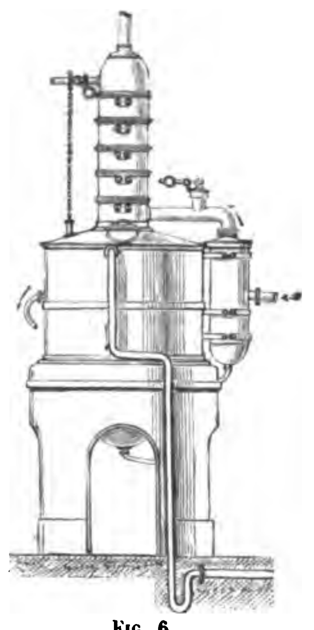


FIG. 6.

Le réchauffeur représenté dans le croquis ci-contre *(fig. 6)* est un appareil qui :

1° Reçoit la vapeur d'échappement ;

2° Épure cette vapeur des graisses et huiles de graissage ;

3° Porte l'eau d'alimentation à 100° ;

4° Précipite les carbonates terreux ;

5° Filtre cette eau et la calorifie ;

6° Fournit l'eau épurée et chaude à 100° en charge de 2 à 7 *m* à une pompe alimentaire qui refoule ladite eau aux chaudières à la température de 97° à 98° centigrades.

CHRONIQUE

N° 170

SOMMAIRE. — Appareils moteurs des navires de guerre américains. — Chemin de fer funiculaire électrique du Stanserhorn. — Courbes sur les chemins de fer des États-Unis. — Navigation à vapeur sur le lac Titicaca. — Application de la dilatation des métaux par la chaleur. — Production de l'acier par le procédé basique.

Appareils moteurs des navires de guerre américains *(suite et fin)*. — Des cheminées de grande hauteur sont le moyen qu'on emploie ordinairement à terre pour produire le tirage des foyers; mais la routine a, jusqu'à ces derniers temps, empêché d'y recourir à bord des navires (1). MM. Denny frères, constructeurs anglais bien connus par leur esprit d'initiative en ce qui concerne les constructions navales, paraissent avoir été les premiers à entrer dans cette voie dans la construction du *Scot*, dont les cheminées avaient une élévation de 36,60 *m* au-dessus des grilles (2). L'auteur ignore s'il a jamais été fait des expériences un peu rigoureuses pour apprécier quel est l'accroissement du tirage pour une augmentation donnée de la hauteur d'une cheminée; mais il croit qu'on peut admettre par approximation que 1 *m* de hauteur additionnelle correspond à 1 *mm* d'augmentation dans la dépression de l'air représentant le tirage. On peut donc juger de l'effet que produisent 12 *m* de plus de hauteur donnés aux cheminées.

D'après l'exemple du *Scot*, lorsqu'on construisit le *Brooklyn* et l'*Iowa*, l'auteur proposa de donner aux cheminées de ces navires une hauteur de 30,50 *m*, ce en quoi il fut appuyé par le *Chief Constructor* de la Marine; on sera peut-être étonné d'apprendre que l'opinion des gens du métier eut beaucoup de peine à triompher de l'opposition artistique d'un membre du Département de la Marine, totalement étranger à la question technique, mais qui trouvait que ces hautes cheminées gâteraient l'aspect général des navires.

Ce personnage se plaignit au ministre, lequel demanda à l'auteur les raisons qui lui faisaient réclamer une si grande hauteur pour les cheminées et se déclara satisfait de ses explications. On sait que le *Campania* et le *Lucania* ont des cheminées de 39,65 *m* (3) de hauteur pour tout moyen de tirage, et tous les nouveaux navires de la marine américaine vont avoir des cheminées beaucoup plus hautes qu'on ne le faisait précédemment.

Une autre méthode de tirage forcé qui se répand actuellement est le tirage par aspiration, dans lequel, au lieu de souffler de l'air dans la chaufferie ou dans le cendrier, on aspire les produits de la combustion

(1) Voir à ce sujet les Bulletins de la Société des Ingénieurs Civils de France, 1889, p. 473.

(2) Chronique de juin 1891, p. 851.

(3) Chronique de décembre 1893, p. 590.

par des ventilateurs. On opère dans ce cas à la manière du jet de vapeur si usité; mais on évite la perte d'eau douce qui résulterait à la mer de l'emploi de ce jet de vapeur. Au premier abord, ce système ne paraît pas très séduisant; mais l'expérience acquise depuis quelques années en Angleterre par MM. John Brown et Cie semble indiquer des résultats avantageux, et cette méthode va être appliquée à quelques-uns des navires en construction pour la *International Navigation Company.*

En traitant la question du poids des appareils, on a supposé jusqu'ici que les chaudières n'ont subi d'autres modifications que celles qui correspondent à l'application du tirage forcé; mais on peut se demander s'il n'y a pas lieu d'aller plus loin et d'abandonner les types actuels de générateurs marins pour adopter des modèles plus légers, c'est-à-dire les chaudières formées de tubes contenant l'eau, ou chaudières à petits éléments. Tout le monde sait que ce système présente de grands avantages au point de vue du faible poids relatif, de l'immunité contre des explosions désastreuses, de la rapidité de la mise en pression, de la sécurité contre une élévation de tension de la vapeur, et enfin, de la facilité de mise en place et d'enlèvement. La seule objection paraît être la crainte du peu de durée de ces générateurs formés de tubes d'assez faible épaisseur; or, la manière dont ces organes se comportent dans les chaudières ordinaires n'est pas de nature à donner une grande confiance à cet égard. Il est vrai qu'on peut citer des générateurs à serpentins qui ont servi cinq ou six ans sans montrer d'usure appréciable, et il en est même qui ont fonctionné plus de dix ans avec de l'eau douce.

Le *Monterey* a quatre chaudières à serpentins du type Ward, combinées avec deux générateurs cylindriques. Ces appareils ont donné toute satisfaction dans les essais, et la croisière opérée par le *Monterey* indiquera si ces bons résultats sont durables. L'auteur est d'avis que, si cet essai réussit, ainsi que ceux qu'on vient de faire sur d'autres navires, il se passera peu de temps avant que les chaudières cylindriques ne soient appelées à disparaître entièrement.

Pendant que nous sommes sur la question du poids, il ne faut pas oublier de faire remarquer que les machines elles-mêmes ont été notablement allégées. Cet effet est dû à trois causes : l'augmentation de la pression, celle de la vitesse des pistons et l'emploi de matériaux plus résistants. On a plus que doublé la vitesse des pistons depuis quinze ans, et ces vitesses atteignent aujourd'hui, sur les grands navires, 4,80 *m* par seconde, tandis que, sur des petits, comme les torpilleurs, on dépasse notablement 5 *m*. Avec des matériaux de qualité supérieure, permettant de réduire le poids des pièces à mouvement alternatif, il n'y a pas de raison pour qu'on ne dépasse pas ces vitesses, ce qui conduira à de nouvelles diminutions dans les poids. Avec des chaudières à petits éléments, on pourra employer des pressions encore plus élevées que celles de 18 *kg* dont on fait usage avec le plus grand succès sur quelques torpilleurs.

L'emploi de l'acier forgé pour les tiges de pistons, bielles et arbres, et de l'acier coulé pour les pistons, bâtis et plaques de fondation a notablement réduit les poids dans certaines machines; mais on ne voit pas jusqu'ici qu'il soit bien aisé de remplacer la fonte pour les cylindres; il

y aurait cependant là un nouveau progrès dans le sens de l'allègement. Si l'acier au nickel vient, dans un avenir prochain, à être d'un usage aussi général que l'est actuellement l'acier doux, il y aura là la source d'un nouveau progrès. Il est à remarquer que toutes ces questions de vitesses élevées et de matériaux de choix se tiennent en ce que la limite des vitesses est établie par le poids des pièces à mouvement alternatif, dont l'inertie est si grande au delà d'une certaine vitesse, que dans une partie de la course le piston ne fait pas de travail utile, mais est simplement tiré par les pièces auxquelles il est attelé. Si on réduisait le poids de ces pièces, on pourrait accroître la vitesse jusqu'à une nouvelle limite.

Un point qui a toujours vivement intéressé les Ingénieurs est la consommation de combustible aux essais à toute puissance. Tout le monde sait qu'on invoque toujours, pour une bonne machine à triple expansion fonctionnant avec de la vapeur à pression élevée, le chiffre de 0,70 *kg* ou à peu près par cheval indiqué et par heure. L'auteur doit avouer qu'il n'a jamais réussi à atteindre ces consommations. Dans les essais faits sous sa direction, avec le concours des constructeurs, on opère avec tout le soin possible, en ayant le charbon dans des sacs qui contiennent 45,3 *kg* (100 livres) chacun, sacs qu'on compte à mesure qu'ils sont vidés et qu'on recompte encore à la fin de l'essai. On fait quelquefois aussi un essai complémentaire avec la moitié des chaudières, en prenant toutes les précautions pour que les conditions soient les mêmes que dans l'essai à toute puissance. On a toujours trouvé que la consommation par cheval indiqué et par heure à toute puissance s'élevait au-dessus de 0,900 *kg* et même, dans certains cas, atteignait 1,15 *kg*

Dans un de ses rapports annuels au Secrétaire de la Marine, l'auteur appelait l'attention sur la cause de la différence de consommation entre les machines des bâtiments de guerre et celles des navires de commerce. On trouve des documents très précieux sur cette question dans les essais faits avec un soin particulier par une commission de l'*Institution of Mechanical Engineer*, sous la présidence du professeur Kennedy, sur les machines du steamer *Iona* (1). Dans les chaudières de ce navire, la proportion entre la surface de chauffe totale et la surface de grille est de 75 à 1. Toute l'affaire est là. Dans les navires de guerre américains, cette proportion ne dépasse jamais 35, de sorte qu'à toute puissance on brûle beaucoup plus de charbon par rapport à la surface de chauffe et que les gaz de la combustion sortent à une température très supérieure à celle que l'on a constatée dans l'*Iona* ; il y a donc une perte relativement considérable de calorique par les cheminées.

Un autre point qui appelle également une attention spéciale par l'importance qu'il a dans les essais des machines marines est la correction à faire dans les puissances réalisées du fait de la vérification des indicateurs.

Dans les premiers navires de la marine, les contrats portaient simplement l'indication d'une certaine puissance à réaliser sur les pistons des machines. Dès lors, avec une pression donnée et des dimensions déterminées de cylindres, on pouvait être à peu près certain de déve-

(1) Voir Chronique de juillet 1892, p. 327.

lopper la puissance stipulée; à cette époque on n'avait de données pour relier la puissance à la vitesse que celles qui provenaient d'essais faits à l'étranger et, sans vouloir le moins du monde contester l'exactitude de ces essais, on peut dire que les circonstances dans lesquelles ils ont été exécutés ne sont pas toutes connues et quelque incertitude règne toujours sur ce point. D'autre part, la détermination précise de la puissance réalisée a pris une grande importance du fait que dans les marchés, on stipule actuellement une prime pour chaque cheval obtenu en plus du chiffre fixé, généralement 500 *f*, et une amende de la même importance pour chaque cheval réalisé en moins (1).

On a fait entre les divers systèmes d'indicateurs des expériences comparatives qui montrent qu'aucun n'est absolument exact à toutes les pressions et, si les indicateurs bien construits ne donnent pas une grande différence d'une pression à l'autre, néanmoins l'erreur n'est pas négligeable surtout lorsque les relevés sont faits sur un moteur de grande puissance. Dans les essais d'un grand navire de guerre, le total brut s'elevant à 10 000 *ch* en nombre rond, la correction opérée sur les indicateurs a ramené ce chiffre à 9000. On conçoit qu'en présence de la prime de 500 *f* par cheval, ce résultat ait été peu agréable pour les constructeurs, mais ils n'ont pu s'en prendre qu'au peu de précision de leurs indicateurs dont quelques-uns avaient une erreur de 1 1/2 *kg* aux pressions les plus élevées qu'ils pouvaient marquer.

Ce fait et quelques autres du même genre ont appelé l'attention des constructeurs sur une question aussi importante pour eux, de sorte que, maintenant, avant d'acheter des indicateurs ils les essaient à l arsenal de New-York où on a installé un appareil de vérification qui est probablement le plus exact qui existe et ils refusent ceux qui ont des erreurs dépassant une certaine limite. Les fabricants d'indicateurs, stimulés par ces exigences, ont de leur côté pris la chose à cœur et il est résulté de ces concours une amélioration très réelle de l'exactitude des ressorts. Ainsi récemment 72 ressorts ont été achetés chez un fabricant avec la garantie que l'erreur ne dépasserait en aucun cas 3 0/0, et, sur les 72, 7 seulement ont été refusés; dans ces derniers, l'erreur ne se produisait qu'au bas de la course et son importance était, par suite, relativement faible. Ces indicateurs auraient donné de très bons résultats dans des essais.

On a souvent fait la remarque quelque peu malicieuse que les corrections des indicateurs sont toujours au détriment des constructeurs. Ce n'est pas absolument exact, mais cependant c'est très fréquent et il est bien facile d'en donner la raison. Certainement les fabricants d'indicateurs font tout ce qu'ils peuvent pour que leurs instruments

(1) Le département de la marine des États-Unis a payé des sommes considérables pour les primes sur les excédents de vitesse et de puissance, plus de 5 millions de francs sur lesquels la maison Cramp a touché à elle seule plus de 3 millions. Certains navires, le *Colombia* et le *New-York*, ont touché 1 million chacun pour excédent de vitesse. Pour celle-ci, il n'y a pas eu de pénalités, soit que tous les navires aient atteint au moins la vitesse du marché, soit qu'il n'ait pas été stipulé d'amende dans les contrats. Pour la puissance, au contraire, tandis que les uns, comme le *Baltimore* ont reçu 5 0 000 *f* pour 1 000 *ch* d'excédent, d'autres, comme le *Charleston*, ont eu à subir une retenue de 169 000 *f* pour 338 *ch* manquants.

approchent de la perfection, mais ils ne peuvent qu'en approcher sans l'atteindre. Obligés d'accepter une certaine marge d'inexactitude, ils s'arrangent de manière que l'erreur soit plutôt du côté d'un excès de puissance que de l'autre sens, et cela parce que c'est l'intérêt de leurs clients les plus nombreux. Les essais officiels de recette sont à peu près les seuls où on cherche à avoir des résultats d'une exactitude presque absolue. Généralement on vérifie les indicateurs et, si l'erreur ne dépasse pas une certaine limite, on les tient pour exacts, d'autant plus qu'à part le cas cité plus haut, on n'a jamais besoin d'une rigueur absolue. Pour les navires du commerce, armateurs et constructeurs désirent constater une puissance aussi élevée et une consommation par cheval aussi basse que possible. Cela n'a aucune importance pour le service que fera le navire. On comprend donc facilement pourquoi, du moment où une erreur était impossible à éviter, on s'est arrangé pour la mettre du côté de l'excès plutôt que de l'autre.

On a reproché aux méthodes d'essai des ressorts d'indicateur de ne pas reproduire les conditions où ces ressorts travaillent en pratique. Cette objection est fondée, mais personne n'a encore trouvé un moyen de faire l'essai d'un ressort comprimé et décomprimé à raison de 300 fois et plus par minute. D'autre part, on peut dire que toutes les tentatives faites pour remplacer les vieux modèles d'indicateurs par les nouveaux, ont eu pour point de départ l'impossibilité alléguée pour les premiers de donner des indications exactes à des vitesses considérables, et on a toujours réclamé en faveur des seconds la faculté de donner la même exactitude à des allures très variables. Si donc la méthode employée par la marine américaine n'est pas absolument satisfaisante, c'est aux fabricants d'indicateurs à indiquer à quel degré inférieur de vitesse leurs appareils cessent d'être exacts. On peut d'ailleurs ajouter que des essais ont été entrepris à l'arsenal de New-York pour déterminer si la méthode à laquelle il vient d'être fait allusion présente des causes d'erreur et, s'il en est ainsi, quelle peut être l'importance de ces erreurs. Bien que ces essais ne soient pas entièrement terminés, les résultats acquis jusqu'ici sont en faveur de l'exactitude de la méthode.

On ne peut guère admettre que les essais de vitesse rentrent dans le cadre d'un travail sur les machines marines ; néanmoins l'auteur croit utile de dire quelques mots d'une méthode qu'il a employée avec succès l'année dernière avec l'approbation du Bureau de construction aux essais du *Bancroft*. Cette méthode consiste dans une série d'essais progressifs par lesquels on arrive à jauger pour ainsi dire le propulseur et à établir une relation rigoureuse entre la vitesse du navire et le nombre de tours de l'hélice. Un certain nombre d'observations permettent de tracer une courbe représentant la loi de cette relation pour le navire sur lequel elles ont été faites. On peut donc, pendant une croisière plus ou moins longue, calculer les vitesses sans autre constatation que celle des nombres de tours de machines. Ce système est très employé à l'étranger; on l'a appliqué sur le croiseur argentin *Ninth of July*. Il est plus exact que l'emploi des lochs même perfectionnés et n'exige rien en dehors des moyens propres du navire ; il ne demande pas le personnel nombreux qu'exige l'essai de vitesse sur une base. De plus il a l'avantage très pré-

cieux de laisser constater l'amélioration qui peut se produire dans le rendement depuis le commencement jusqu'à la fin de l'essai.

Si, par exemple, la seconde moitié d'un essai donne des résultats très supérieurs à ceux de la première, les enseignements à tirer de cet effet sont beaucoup plus complets que si les résultats avaient été uniformément bons. Enfin, avec cette méthode, les essais progressifs au mille mesuré fournissent tant au constructeur de la coque qu'à celui de la machine des renseignements très précieux sur le rapport de la puissance à la vitesse pour les diverses valeurs de celle-ci.

Au risque de sortir quelque peu de son sujet, l'auteur croit utile d'ajouter une observation qui se relie intimement toutefois à la question du fonctionnement économique à puissance réduite. Tous ceux qui ont étudié le sujet avec un peu d'attention savent que c'est une erreur que de vouloir construire des croiseurs rapides dans des dimensions réduites, par exemple des navires de 1 500 à 1 880 *tx* de déplacement pour réaliser 17 à 18 nœuds. Les machines nécessaires pour donner ces vitesses occupent tellement de place qu'il n'en reste plus pour le charbon et que le rayon d'action de ces navires devient très limité. En temps de paix, ils n'ont qu'exceptionnellement à réaliser les vitesses pour lesquelles ils ont été construits et, en fait, ils passent leur existence à trainer sur les mers un poids de machines et de chaudières qu'ils n'ont jamais l'occasion d'utiliser.

D'autre part, en temps de guerre, ces navires n'ont pas assez d'armement défensif ou offensif pour combattre un bâtiment de guerre véritable et ils n'ont pas assez de vitesse pour atteindre des navires de commerce de grande valeur.

Il semble donc qu'il serait avantageux de construire des navires uniquement propres à remplir en temps de paix le rôle de croiseurs, montrant le pavillon national dans les diverses parties du monde et y surveillant les intérêts des citoyens, pouvant au besoin, comme cela s'est produit récemment à Honolulu et ailleurs, débarquer des troupes. Pour cela ces navires doivent être assez grands pour porter beaucoup de monde et beaucoup de charbon. En temps de guerre, ces navires seraient complètement mis de côté.

Des bâtiments de 2 500 *tx* de déplacement avec des machines donnant 1 300 *chx* à toute puissance à tirage forcé rempliraient ces conditions. Avec cette puissance ils atteindraient 12 ou 13 nœuds au maximum et à puissance réduite au tirage naturel 8 ou 9.

Ils pourraient porter 675 *tx* de charbon et, avec des dispositions économiques pour les machines auxiliaires, avoir un rayon d'action de 13 000 milles à 9 nœuds de vitesse. Les machines et les chaudières seraient combinées pour réaliser le minimum de consommation. Une douzaine de navires de ce genre donneraient par leur emploi des économies assez considérables pour payer en quelques années plus que leurs frais de construction.

Chemin de fer funiculaire électrique du Stanserhorn. — Le chemin de fer funiculaire du Stanserhorn est le plus récent qui

ait été installé en Suisse et il présente, tant par ses dimensions que par ses dispositions particulières, un intérêt considérable.

Le Stanserhorn est une montagne dont le sommet est à 1 900 *m* au-dessus du niveau de la mer, c'est-à-dire à une hauteur comprise entre celles de ses voisines, le Pilate 2 123 *m* et le Righi 1 800. Cette montagne s'élève au-dessus de Stans, chef-lieu du demi-canton de Nidwald, et de sa cime on jouit d'une vue splendide sur les Alpes Bernoises, le lac des Quatre-Cantons et la région montagneuse du nord-ouest de la Suisse. Les moyens de communication sont des plus faciles. Les bateaux à vapeur conduisent en 30 minutes de Lucerne à Stanstadt d'où un tramway électrique va en 15 minutes à Stans où est le point de départ du funiculaire qui fait l'objet de cette note. Ce tramway est à conducteur aérien et l'électricité lui est fournie par la même force motrice qu'au funiculaire. Ce dernier a été inauguré au mois d'août 1893. La différence de niveau à franchir étant de 1 850 — 450 = 1 400 *m*, la longueur, près de 4 000 *m*, aurait été trop grande pour faire un simple funiculaire, d'autant plus que le tracé, utilisant sur certains points le lit d'un torrent, impliquait des courbes répétées. On a donc pris le parti de faire trois funiculaires successifs avec transbordement des voyageurs aux deux points intermédiaires.

La première section de Stans à Kälti franchit une différence de niveau de 714 — 450 = 264 *m*, la longueur du tracé est, en projection horizontale, de 1 527 *m* et, suivant la pente, de 1 550 *m* ; les inclinaisons varient de 12 à 27,5 0/0.

La seconde section de Kälti à Blumatt rachète une différence de niveau de 1 221 — 714 = 507 *m* avec une longueur de 960 *m* sur l'horizontale et de 1 090 suivant la pente. Les inclinaisons y sont nécessairement beaucoup plus fortes ; elles varient de 40 à 60 0/0.

La troisième section va de Blumatt, 1 221 *m* d'altitude, à l'hôtel du Stanserhorn 1 850 *m*, différence 629 *m*, et a 1 275 *m* de développement pour 1 110 *m* en projection horizontale. Les inclinaisons varient, comme pour la précédente, de 40 à 60 p. 100. Elle comprend des travaux d'art relativement importants, un tunnel de 140 *m* et un viaduc d'assez grande longueur et son tracé est particulièrement hardi et même quelque peu effrayant. De l'hôtel du Stanserhorn un sentier conduit en quelques minutes au sommet de la montagne situé à 50 *m* plus haut.

Chaque section se compose d'une voie unique avec un évitement au milieu de la longueur. Il y a pour chacune deux wagons attachés aux extrémités d'un câble qui s'enroule sur un tambour actionné par une dynamo. Cette installation se trouve à la station supérieure de chaque section, c'est-à-dire à Kälti, à Blumatt et au sommet.

Les dynamos reçoivent leur courant d'une station hydraulique et électrique située à Buochs, à 5 *km* de distance où une chute de l'Aa fait mouvoir des turbines. Il est juste de dire toutefois que pour suppléer, soit à l'insuffisance de la force hydraulique (1), soit à une interruption de la transmission du courant, on était en train, lorsque nous avons

(1) La station de Buochs fournit déjà le courant à la traction du funiculaire du Burgenstock, à l'éclairage de l'hôtel du même nom et à une usine.

visité la ligne à la fin d'août dernier, d'installer à chaque station une machine à vapeur de 60 *chx*.

Les caisses des voitures sont en forme d'escalier; elles sont divisées en quatre compartiments de huit personnes; avec le même nombre sur la plate-forme, elles peuvent donc porter quarante voyageurs.

La particularité la plus originale du chemin de fer du Stanserhorn est l'absence complète de crémaillère. Les freins agissent, en effet, non sur une roue dentée, mais directement sur les rails. Ils sont formés par de puissantes machines qui serrent le rail sous l'action d'une vis à filets inverses ; cette vis est actionnée par une roue qui, par une disposition ingénieuse, est mue par les roues de la voiture dès que la suppression de la tension du câble met en contact avec elles un galet de friction. Il y a là une combinaison du frein de la Croix-Rousse et du frein Heberlein. Les rails ont un profil particulier pour que les mâchoires agissent bien sur eux. Ce sont des rails Vignole, dont la tige s'évase en haut pour se raccorder au champignon sans partie concave. A première vue, l'absence de crémaillère sur des rampes allant à 60 0/0 peut paraître téméraire ; néanmoins, des essais très rigoureux faits par l'inspectorat technique du département fédéral des chemins de fer ont montré qu'on pouvait avoir confiance dans ce système. Il y a deux paires de mâchoires dont chacune peut exercer une pression de 13 500 *kg* ; une troisième paire, actionnée depuis la plate-forme, sert de frein à main.

On ne peut contester que la suppression de la crémaillère, qui coûte toujours bien une vingtaine de francs par mètre courant, soit de nature à réduire les dépenses d'établissement dans une proportion assez notable. L'expérience indiquera si cette économie n'est pas compensée par quelque inconvénient plus ou moins sérieux.

Les deux voies s'approchent assez parallèlement l'une de l'autre aux stations intermédiaires pour que les voyageurs n'aient que quelques pas à faire pour passer d'une voiture dans l'autre. Cette opération se fait d'ailleurs à couvert. Le temps employé à parcourir chaque section est le même pour que les trains arrivent ensemble aux stations. La vitesse n'est donc plus constante; ainsi, sur une section, les voitures parcourent 120 *m* à la minute et sur l'autre 85 *m* seulement. Chaque parcours dure 13 minutes, de sorte qu'avec le temps nécessaire au transbordement, il faut 45 minutes pour le parcours complet. On monte donc verticalement de 33,33 *m* par minute et la vitesse de translation suivant la pente varie de 1,40 *m* à 2 *m* par seconde, soit 5 à 7,2 *km* à l'heure. Cette vitesse est très réduite, mais on voudra bien remarquer que si on devait franchir cette différence de niveau avec un chemin de fer ordinaire, il faudrait, pour une rampe de 30 p. 1 000, marcher à 60 *km* à l'heure, et, sur une rampe de 60 p. 1 000, limite de la traction par adhérence, encore à 30 *km*.

On peut donc aller de Lucerne à l'hôtel du Stanserhorn en 1 1/2 heure. Il y a dix trains réguliers par jour. Le prix est de 8 *f* aller et retour par le funiculaire. Un calcul analogue au précédent donnerait 0,08 1/2 *f* par kilomètre pour l'équivalent sur un chemin de fer à adhérence à rampes de 30 p. 1 000.

Cette ligne a été établie par MM. Bucher et Durrer qui avaient déjà

fait celle très voisine du Bürgenstock également à traction électrique, mais d'une hauteur beaucoup moindre (440 *m* de différence de niveau). Sur cette dernière, il y a une crémaillère du système Abt.

Courbes sur les chemins de fer des États-Unis. — Nous avons déjà eu l'occasion d'appeler l'attention sur les faibles rayons de courbes qu'on rencontre fréquemment sur les chemins de fer des États-Unis. Les journaux américains en donnent un exemple assez curieux. On a établi à New-York, pour desservir les magasins de l'Adams Express Company, situés dans la partie est de la gare centrale du New-York Central and Hudson River Railroad, trois voies qui ont 22,87 et 24,40 *m* de rayon mesuré dans l'axe de la voie. Ces courbes sont parcourues par des fourgons du modèle ordinaire de 15,25 *m* de longueur et par une locomotive de gare à quatre roues avec tender indépendant à quatre roues également. Le passage se fait sans aucune difficulté, on a seulement donné à la voie dans les courbes un surécartement de 13 *mm* et on a allongé de 0,40 *m* la barre d'attelage entre la locomotive et le tender. La voie est, bien entendu, à l'écartement normal de 1 435 (4 *p* 8 1/2 *p*).

L'écartement intérieur des bandages est de 1,36 *m*, les roues de la machine ont 1,222 *m* de diamètre et les essieux sont écartés de 2,450 ; les roues du tender ont 0,762 *m* de diamètre et l'écartement de leurs essieux est de 2,29 *m*. La longueur totale hors traverses des deux véhicules attelés est de 12,75 *m* et l'écartement des essieux extrêmes de 8,97 *m* y compris l'allongement indiqué plus haut de l'attelage entre la locomotive et le tender.

C'est probablement, à l'exception du chemin de fer militaire des États-Unis où on rencontre des courbes de 15,25 *m*, les plus faibles rayons qu'on puisse citer sur des lignes à voie normale desservies par des locomotives. A la suite de ce document on trouve reproduit le tableau donné dans l'ouvrage de Wellington « Economic Theory of Railway Location » des plus faibles rayons de courbes qu'on trouve sur les chemins de fer aux États-Unis. On trouvera ci-dessous ce tableau qui est intéressant.

Un fait très remarquable dans le même ordre d'idées est rapporté par M. M. Alpine dans une communication faite par lui en 1878 à l'American Society of Civil Engineers.

CHEMINS DE FER	LOCALITÉS	RAYON
—	—	—
New - York - New - Haven and Hartford	Springfield.	125 *m*
Baltimore-Ohio	Harpers Ferry Md	122
Oroya Railroad.	Perou	120,50 *m*
Lehigh and Susquehannah . .	Division supérieure	116,80
Baltimore-Ohio	Ilchester.	114,80
Lehigh and Susquehannah . .	Stony Creek	97,60
— — — . .	Butler Branch	94,55
Baltimore-Ohio.	Harpers Ferry Va.	91,50
Virginia Central	Près du tunnel de Rockfish.	91,50

Pennsylvania R. R.	Expos. Philadelphie 1876.	91,50
Pittsburg and Fort Wayne R. R.	— — —	75,00
Virginia Central.	— — —	72,60
Cana and Rockwy R. R. . .	Brooklyn.	53,40
Baltimore-Ohio.	Triangle pour tourner les machines	41,50
Manhattan Elevated R. R. . .	—	31.40
Brooklyn, Bath and Coney Island	— 16,80 à	31,10
New-York Central	Gare des marchand. 23,80 à	24,40
Chemin de fer militaire des États-Unis	Petersburg.	15,25

Lorsque les armées fédérales occupèrent Richmond et Petersburg à la fin de la guerre de la Sécession, les communications par voie ferrée se trouvaient coupées par suite de la rupture d'un pont situé près de la première de ces villes sur l'Appromatox. Pour y suppléer, on fut conduit à établir une voie de raccordement comprenant une courbe, inadmissible à première vue, de 15,25 *m* de rayon. La voie était posée sur des traverses reposant sur des pieux, les rails étaient fixés par de doubles crampons et munis de contre-rails établis de la même manière. Personne ne voulut croire que les machines pourraient passer dans cette courbe. On choisit les machines les mieux appropriées, on les fit d'abord passer au pas, puis à des vitesses de plus en plus grandes. Quand le personnel fut habitué, les trains circulèrent à raison de 12 à 15 *km* à l'heure et, pendant plusieurs mois, un trafic très important passa sur cette section pour l'approvisionnement des troupes qui occupaient Richmond sans qu'aucun accident se soit produit.

Ce qui précède prouve, une fois de plus, qu'on a constaté depuis longtemps la possibilité matérielle de faire passer des locomotives dans des courbes de petit rayon, sans que ces faits impliquent en aucune manière la convenance d'employer ces rayons en dehors des cas d'absolue nécessité.

Navigation à vapeur sur le lac Titicaca. — On a récemment inauguré la navigation à vapeur sur le lac Titicaca. On sait que le lac de ce nom, qu'on appelle aussi lac de Chicuito, est situé sur la frontière du Pérou et de la Bolivie à l'altitude de près de 3 900 *m* au-dessus de la mer. Il a environ 150 *km* de longueur, c'est-à-dire près du double de celle des grands lacs de la Suisse et de l'Italie septentrionale, sur une largeur variant entre 20 et 70 *km*.

Il y a des villes importantes sur ses bords, notamment Chicuito et surtout Pano qui compte une population de 10 000 habitants et est relié par un chemin de fer avec Arequipa et Puerto-Mollendo, petit port de mer sur le Pacifique.

Le lac est à 300 *km* de la mer à vol d'oiseau.

Jusqu'ici la navigation ne s'effectuait sur le lac Titicaca qu'au moyen de balsas, radeaux portés sur des outres dont se servent les Indiens; on y avait cependant établi, depuis quelques années, deux petits navires de transport.

Comme il y a un trafic important et susceptible d'un grand développement en minerais d'argent, de cuivre, de plomb, de quinine, cacao, etc., on a songé à établir la navigation à vapeur. A cet effet un vapeur à deux hélices, le *Coya*, de 52 *m* de longueur, 7,95 *m* de large et 3,70 *m* de creux et de 550 *tx* de jauge, a été construit par MM. Denny frères, de Dunbarton et transporté par morceaux jusque sur les bords du lac Titicaca où il a été remonté, puis mis à l'eau. Cette opération a été menée à bien, malgré d'énormes difficultés, par M. Wilson, Ingénieur de la maison Denny. Le transport et le remontage ont duré une année entière. Ce dernier a été fait par cinquante ouvriers, parmi lesquels, dit le journal anglais *Engineer*, dans lequel nous trouvons ces renseignements, on ne trouvait pas moins de quatorze nationalités.

La mise à l'eau du *Coya* avait attiré une foule indigène énorme venue de localités même éloignées, et elle a été faite avec toutes les cérémonies ordinaires, bénédiction de l'évêque de Pano, etc. Le succès de ce premier bateau ayant été complet, il sera rapidement suivi de plusieurs autres, car la traversée du lac abrège notablement la distance entre certaines régions de la Bolivie et l'océan Pacifique.

L'article ci-dessus a valu à l'*Engineer* plusieurs lettres contenant des renseignements intéressants. Dans l'une on indiquait que le *Coya* n'était point le premier vapeur mis en service sur le lac Titicaca, attendu que les deux navires de transport cités plus haut étaient des bateaux à vapeur portant environ 60 *tx* chacun et fonctionnant depuis 25 ans. Une autre lettre mentionnait que MM. Hunter et English avaient mis à l'eau l'année dernière sur le lac une drague à vapeur de 24 *m* de longueur pouvant extraire 500 à 600 m^3 par jour. La chaudière de cette drague peut être chauffée à la houille ou l'huile minérale, elle est actuellement en plein fonctionnement. Enfin on insinuait que les ingénieurs de MM. Denny avaient peut-être fait passer le pays pour plus sauvage qu'il n'est en réalité pour faire ressortir leur mérite. Les ressources sont loin de manquer ; il y a, en effet, à Arequipa, à 300 *km* du lac, un atelier de mécanique avec fonderie assez bien outillé pour avoir pu depuis quelque temps aborder la construction des locomotives.

Application de la dilatation des métaux par la chaleur. — Voici un curieux exemple de l'emploi de la dilatation des métaux par la chaleur. A la houillère de Clay Cross, en Angleterre, est établie une pompe d'épuisement souterraine mue par la vapeur ; le tuyau de refoulement de cette pompe s'élève verticalement dans un puits, il forme une colonne de 0,165 *m* de diamètre intérieur sur 128 *m* de hauteur, reposant entièrement sur le fond et seulement maintenue latéralement. Le 25 janvier dernier, un tuyau de cette colonne se brisa dans la partie inférieure près du raccordement avec la pompe. On fit une réparation provisoire pour continuer le fonctionnement jusqu'à ce qu'on eût la pièce de rechange, et une fois celle-ci arrivée, on se mit en devoir de la mettre en place. Pour le faire, il était nécessaire de soulever la colonne qui avait un poids considérable.

L'Ingénieur de la mine eut l'idée, pour se dispenser d'un travail pénible et coûteux, d'utiliser la dilatation des tuyaux par la chaleur.

A cet effet, on commença par fixer deux fortes pièces de bois par scellement dans la maçonnerie du puits à 25 *m* au-dessus du fond, une de chaque côté de la colonne, de manière à embrasser celle-ci.

Deux mâchoires pouvant être serrées par des boulons et embrassant également la colonne furent posées sur les pièces de bois. On brancha sur le bas des tuyaux un petit conduit y amenant la vapeur de la conduite actionnant la pompe souterraine et on lança la vapeur dans la colonne. Au bout d'une heure, l'échauffement étant opéré, on serra fortement les mâchoires autour de la colonne et on défit le joint du tuyau à remplacer après avoir eu soin de fermer l'arrivée de la vapeur. Au refroidissement les tuyaux se contractèrent et laissèrent un intervalle de 20 à 25 *mm* environ qui permit d'introduire le tuyau de rechange; une fois celui-ci en place, on desserra lentement les mâchoires pour laisser redescendre la colonne et faire le joint. L'opération entière dura quatre heures sans aucun accroc. On peut calculer facilement que, pour 80° par exemple de différence de température, avec un coefficient de dilatation pour la fonte de 0,00001125 par degré, on a 0,0009 et pour 25 *m* 0,0225, soit la quantité nécessaire pour l'opération.

Production de l'acier par le procédé basique. — D'après les publications de l'*Iron and Steel Institute*, la production totale d'acier par le procédé basique aurait été, pour l'année 1892, de 3 202 000 *t*, en augmentation de 322 000 *t* sur l'année précédente. Sur ce total, la fabrication au convertisseur entre pour 2 591 000 *t* et celle sur sole pour 611 000. Il a été produit 770 000 *t* de scories contenant environ 36 0/0 de phosphate de chaux dont la totalité environ a été utilisée pour l'agriculture.

Sur ce chiffre qui vient d'être énoncé, l'Allemagne et le Luxembourg figurent pour 2 013 000 *t*, soit les deux tiers; après vient la Grande-Bretagne pour 407 000, l'Autriche-Hongrie et la France pour 288 000 *t* chacune et la Belgique, la Russie et les États-Unis pour ensemble 207 000 *t*.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Décembre 1893.

Études sur la fermentation des mélasses, par le docteur Jean Effront, de Bruxelles.

La fermentation que doivent subir les mélasses pour servir comme matières premières en distillerie est très irrégulière en pratique et il reste des quantités notables de sucre non transformé en alcool. Cette fermentation imparfaite paraît tenir à l'intervention des acides organiques volatils et des produits nitreux que contiennent certaines mélasses à l'état de sels.

On doit donc chercher à éliminer les acides volatils par l'action de la chaleur et à neutraliser les mélasses. Ce procédé, parfait en théorie, ne réussit pas toujours en pratique et ces insuccès ont amené l'auteur à des recherches qui sont exposées dans cette note. Elles l'ont conduit à reconnaître que la cause de la non-fermentescibilité de certaines mélasses réside en outre dans la présence de certains ferments dont l'acide sulfurique qu'on emploie pour mettre les acides volatils en liberté arrête l'action. La cause du mauvais rendement en alcool de certaines mélasses serait donc un ferment spécial, une bactérie, dès lors on doit s'appliquer à la combattre. Cette bactérie résiste à l'action des doses antiseptiques généralement employées.

L'auteur a cherché à l'éliminer par dépôt et il a réussi en produisant une coagulation dans le liquide, au moyen de blancs d'œufs par exemple.

Note sur la **fabrication de la fécule de pommes de terre** par plans courants, par M. Bondonneau.

Ce procédé a pour objet de donner des fécules très blanches: la coloration des fécules du commerce tient à la nature de l'eau employée, à l'entraînement d'une certaine proportion de pulpe et surtout à la transformation des matières pectiques au sein de l'eau de végétation d'où résultent des matières gélatineuses qui sont la cause première de fermentations lactiques et butyriques.

On évite ces inconvénients par l'emploi de plans courants dont l'action est basé sur ce fait que les grains de fécule déposés laissent entre eux un interstice suffisamment grand pour permettre à un nouveau grain de fécule de venir s'y interposer, mais beaucoup trop petit pour le logement de la pulpe qui se trouve entraînée, avec toutes les matières étrangères colorées, par le courant d'eau dont la vitesse n'est pas inférieure à cinq mètres par minute. Les interstices formés par les grains formant crans d'arrêt pour les suivants, les grains de fécule gros et pe-

tits n'ont plus la tendance à se séparer, comme dans les cuves, le dépôt a lieu au fur et à mesure que le grain trouve son emplacement. Ces plans courants sont en maçonnerie ou en bois doublé de zinc, ils ont de 30 à 40 *m* de longueur, 1 50 à 2 *m* de largeur et 0,35 à 0,60 de hauteur.

On peut résumer comme suit les avantages de leur emploi :

1° Séparation rapide de la fécule des matières étrangères sans contact prolongé avec l'eau ;

2° Production totale obtenue immédiatement sous forme de fécule extra-supérieure sans le concours de produits chimiques, acides ou chlorures;

3° Suppression du travail des secondes et des gras, la fabrication étant terminée en quarante-huit heures après la fin du râpage de la pomme de terre.

Élimination du soufre dans la fabrication du fer, par M. J. S. Stead *(fin)*.

Dans cette partie, l'auteur passe en revue un certain nombre de procédés employés ou proposés pour l'élimination du soufre, tels que les procédés Lowthian Bell, Krupp, Henderson, l'élimination du soufre dans le procédé acide de fabrication de l'acier, dans le procédé Bessemer basique et dans le procédé des fours basiques, le procédé Rollet: les procédés Heaton, Warner, Ball et Wingham, Massenez, Saniter, etc.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Octobre 1893

Travaux d'assainissement et de consolidation de la ligne de Lons-le-Saulnier à Champagnole, par MM. Moron, Ingénieur en chef et Canat, Ingénieur ordinaire des ponts et chaussées.

La nature du sol formé des diverses couches de la formation liasique sur lequel est tracée la ligne en rampe à peu près continue de 25 *mm* par mètre en partant de Lons-le-Saunier, a amené presque immédiatement des mouvements dans les tranchées et dans les remblais. On a combattu ces effets par les moyens ordinaires d'assainissement et de consolidation, mais à un point, à la tranchée du Vieux-Mont, il a fallu dévier le tracé et franchir un petit vallon au moyen d'un viaduc métallique, dont les piles ont dû être descendues à 16 *m* de profondeur.

Ces travaux, exécutés en un an environ, ont coûté un peu plus de 1 200 000 *f* dont 270 000 pour la déviation dont il vient d'être question.

Notice sur **la construction d'un viaduc**, pour la traversée du val de la Loire, à Gien, par M. Rossignol, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ce viaduc est établi sur la ligne de Bourges à Gien. La Loire n'étant pas endiguée dans cette partie, la traversée présentait des difficultés con-

sidérables pour prévenir la submersion de la voie lors des crues. Le projet comportait, sur la rive gauche, un viaduc en maçonnerie de 1 230 *m* de longueur, ayant quatre-vingt-seize arches de 11 *m* d'ouverture ; sur la Loire un pont métallique à sept travées de 386 *m* d'ouverture et, sur la rive droite, un remblai sans autres ouvertures que les ouvrages nécessaires à la traversée des chemins. Ce programme a été modifié par le remplacement du remblai de la rive droite par un viaduc de 300 *m*.

Le sol du val de la Loire est formé d'une série de couches assez régulières de sable, de gros gravier et de marne très aquifères. On a exécuté les fondations en descendant jusqu'à la marne des enceintes blindées jointives pour empêcher le passage du sable fin. On opérait à l'intérieur de ces enceintes. Ce travail a donné lieu à de grandes difficultés. La résistance du sol au fond de la fouille était mesurée par l'enfoncement d'un trépied sous l'action de poids successifs et, lorsque la résistance n'était pas suffisante, on consolidait le sol par le battage de pieux d'un diamètre plus ou moins gros. Une fois la fouille terminée, on y coulait du béton. Grâce aux soins avec lesquels ces travaux ont été conduits, on n'a observé, jusqu'ici, de tassement un peu sérieux qu'à une seule pile qui a dû être consolidée.

La note ne donne pas le prix de la construction de l'ouvrage ; il est seulement indiqué que la dépense était évaluée dans le projet à 2 765 000 *f* dont 1 882 000 pour terrassements et maçonneries, 613 000 *f* pour le tablier métallique et le reste pour les terrains, maisons de garde, etc.

Tableaux graphiques des moments fléchissants sous charges d'épreuve dans les ponts, pour voies de terre, et de quelques propriétés qui en facilitent le tracé, par M. Galliot, Ingénieur des Ponts et Chaussées.

Ces tableaux ont été dressés pour suivre les conditions d'épreuves indiquées par la circulaire ministérielle du 29 août 1891, en remplacement de ceux que M. l'inspecteur général Kleitz avait donnés en 1877, avec les charges prescrites par les instructions de cette époque.

Il y a quatre tableaux dont trois donnent les moments fléchissants pour diverses charges d'épreuves et dont le quatrième donne la comparaison des moments trouvés avec les moments donnés par une charge uniformément répartie. Ces tableaux donnent une approximation, par rapport au calcul direct, qu'on peut évaluer à 150 à 250 unités de moments, l'unité étant égale à 1 *m* $\times$ 1 *kg*. C'est largement suffisant pour la pratique.

Novembre 1893

Notice sur **le grand pont en maçonnerie** construit sur la Saône à Charrey, par M. Mocquery, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Ce pont donne passage au chemin d'intérêt commun de Charrey à Verdun-sur-le-Doubs, et remplace un bac devenu insuffisant à cause de l'établissement, à cet endroit, d'une gare du chemin de fer de Dijon à Saint-Amour.

L'ouvrage a une longueur totale de 181,30 *m*, et se compose de cinq arches en maçonnerie, de 30,20 *m* d'ouverture pour les arches centrales

et 30,25 pour les arches extrêmes. Les voûtes sont en arc de cercle avec 3,75 *m* de flèche.

Les fondations des piles ont été faites à l'air comprimé, avec un caisson métallique surmonté de hausses démontables, dans l'intérieur desquelles on a construit la pile proprement dite. Le terrain était de la marne surmontée de gravier, d'argile et de terre végétale, la première étant à 18 *m* environ au-dessous de l'étiage. Le pont étant compris dans le zone frontière, les deux culées et les piles centrales ont dû être munies de fourneaux dont la construction a occasionné une forte augmentation de dépense à cause de l'énorme cube de pierres de taille, toutes de sujétion, qu'elle a nécessité.

La dépense totale s'est élevée à 328 000 *f*, ce qui correspond à 1 672 *f* par mètre courant compté entre les parements extérieurs des culées et 94,55 par mètre carré de surface en élévation depuis le dessous des fondations, jusqu'au niveau supérieur de la plinthe. On remarquera que ces chiffres sont relativement peu élevés.

Mémoire sur le **calcul de la résistance des arcs paraboliques** à grande flèche, par M. Belliard, ingénieur, ancien élève de l'Ecole des Ponts et Chaussées.

Cette première partie est consacrée d'abord à l'étude de la poussée qui se développe aux naissances d'un arc parabolique, sous l'action des forces auxquelles cet arc peut être soumis, puis à celle de la variation de la flèche : 1° des arcs symétriques et symétriquement chargés, et 2° des arcs symétriques mais non symétriquement chargés. Une seconde partie donnera les formules permettant de calculer *a priori* la section d'un arc parabolique à grande flèche, soumis à des charges données.

Note sur le **débit des puits** dans les terrains perméables, par M. Fossa-Mancini, ingénieur.

L'auteur s'appuie sur quelques théorèmes généraux que l'on emploie dans l'étude des phénomènes électriques pour arriver à l'expression analytique de la trajectoire des filets et de la surface de la nappe ; il se sert de la formule de Dupuit pour le mouvement de l'eau à travers les terrains perméables.

Note sur l'**essai d'une voûte en briques,** par M. Collard, ingénieur des ponts et chaussées.

Il s'agit de voûtes en briques établies pour couvrir un réservoir ; ces voûtes sont en arc de cercle de 4 *m* d'ouverture et de 0,60 *m* de flèche, formées de deux rangs de briques posées à plat avec interposition d'une couche de mortier de ciment Portland ; les reins sont recouverts en partie par une couche de ciment arasée à 0,30 *m* au-dessus de l'extrados. Une chappe en ciment de 2 *cm* d'épaisseur recouvre le tout.

On a expérimenté sur une voûte de ce genre, de 0,60 *m* de largeur, posée sur une tranchée taillée dans le roc, les bords de cette tranchée formant culées. Les briques avaient 0,30 × 0,13 × 0,05 et étaient percées de trois trous.

On a chargé la voûte avec des sacs de ciment à raison de 4 000 *kg*

par mètre carré sur toute la surface, et, après dix-huit heures, il ne s'était produit ni fissures ni tassement. On n'a pas poussé l'essai jusqu'à la rupture faute de sacs disponibles pour le chargement.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DU SUD-EST

Séance du 12 novembre 1893.

Communication de M. Delafosse sur les **travaux de dénoyage et de guidage du puits Pisani.**

Ce puits, appartenant à la concession de Trelys, avait été foncé à 208 *m* de profondeur; l'extraction se faisait par une cage unique guidée par des câbles en fer et équilibrée par un contrepoids guidé de la même manière. Des venues d'eau ultérieures, qui obligeaient fréquemment à des suspensions de l'extraction, rendirent nécessaires la marche à deux cages et le guidage du puits.

Ce guidage fut fait en bois avec des longrines de 4,50 *m* fixées sur trois moises et mises en place avec des précautions particulières. Ce travail fut interrompu par une inondation amenée par un orage formidable, laquelle noya le puits et les travaux. L'épuisement fut très long et difficile avant qu'on pût reprendre la pose du guidage. Le prix de revient de ce travail, main-d'œuvre et fournitures comprises, ressort à 52,80 *f* par mètre courant, avec l'emploi du plancher double dont on s'est servi et qui donne des avantages très appréciables.

Communication de M. Bessard sur l'**installation d'une conduite d'air comprimé.**

Cette conduite a été posée au puits de la Serre pour actionner des treuils. Il s'agissait d'y amener de l'air comprimé de 3 000 *m* environ de distance. Comme on disposait de tubes de 60 *mm* de diamètre intérieur, il a fallu d'abord s'assurer que ces tubes seraient de calibre suffisant pour le débit. Les formules ordinaires, celle de M. Ledoux et celle de M. Devillez, conduisaient à des pertes de charge inadmissibles, voire même à une impossibilité absolue. Quelques essais préliminaires indiquant des pertes de charge bien inférieures à celles que donnaient ces formules, on se décida à poser la conduite avec la précaution d'interposer sur le parcours de grands réservoirs; le succès a été complet et la perte de charge n'a pas dépassé en moyenne 1/2 *kg* pour 6 atmosphères de pression. L'auteur explique cette différence entre la réalité et le calcul d'abord par l'emploi des réservoirs et par l'usage de coefficients trop forts dans les formules. A la suite de cette communication, il a été nommé une commission chargée de faire des expériences sur les conduites d'air comprimé situées dans le Gard. Ces expériences permettront de rassembler de nouveaux documents sur l'écoulement varié et

accessoirement d'étudier une fois de plus les pertes de charge dans le régime permanent.

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 6 décembre 1893.

Nouvel alcool cuivrique pour l'indicateur de grisou de M. CHESNEAU.

L'alcool méthylique à chlorure acide de cuivre dont on se sert pour la lampe grisoumétrique de M. Chesneau a l'inconvénient d'encrasser rapidement la mèche. On peut y remédier en remplaçant cet alcool par de l'alcool à azotate de cuivre au lieu de chlorure. De plus, si on ajoute un produit organique chloré, le chlore sera mis en liberté dans la flamme seulement et on aura tous les avantages de l'alcool au chlorure de cuivre sans avoir l'inconvénient de l'encrassage par le contact du chlorure avec le métal du réservoir. La formule est : 1 gramme d'azotate de cuivre cristallisé pur et 1 gramme de liqueur des Hollandais pour 1 litre d'alcool méthylique à 92,5 degrés à l'alcoomètre de Gay-Lussac à 15° centigrades.

Essais d'utilisation des anthracites menus, communication de M. LEPROUX.

L'auteur a indiqué dans une précédente communication qu'en Pensylvanie, on utilisait à peine 45 0/0 de l'anthracite existant dans les gisements. On a cherché, pour diminuer la perte, à utiliser les menus qui se produisent en abondance. Un des moyens qu'on emploie est l'appareil Coxe, qui donne de bons résultats. C'est une grille sans fin mobile sur laquelle le combustible s'étale et brûle sous l'action du courant d'air produit par un petit ventilateur centrifuge. Ce système permet de réaliser, sans toucher à la couche, sans la renouveler, sans la râbler, une combustion progressive et méthodique.

Procédé GOBERT pour la **congélation des terrains aquifères.**

Le procédé de congélation des terrains aquifères employé actuellement repose sur l'enfoncement dans le sol de tubes dans lesquels on fait circuler un liquide incongelable refroidi au-dessous de zéro. Ce système, qui exige l'existence d'une certaine pression à l'intérieur des tubes, a l'inconvénient de donner lieu à des fuites et à des pertes de liquide. Ces dernières sont graves en ceci que le liquide dissout la glace du sol et forme un mélange incongelable. M. Gobert a proposé d'employer l'ammoniaque gazeux anhydre résultant de l'évaporation de l'ammoniaque liquide à l'intérieur des tubes congélateurs. On introduit le liquide avec une pompe à l'origine du réseau, et on le fait vaporiser par l'entretien dans ce réseau d'une dépression plus ou moins forte produite par une pompe aspirante.

L'auteur décrit un joint au plomb qui donne de l'étanchéité absolue pour éviter des fuites ou rentrées d'air de l'extérieur à l'intérieur. Il donne aussi les résultats d'un essai qu'il a fait du principe de sa méthode. Avec un tube congélateur plongeant dans un réservoir d'eau, on a obtenu, en trente-deux heures, une couche de glace entourant le

tube et pesant 62 *kg* à la fin de l'opération. Il eût été impossible d'atteindre un semblable résultat en employant un liquide incongelable.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

LIVRAISON DU 3 NOVEMBRE 1893

Calcul des tensions secondaires causées par les longerons dans les traverses et les poutres des ponts à treillis, par M. A.-C.-C.-G. VAN HEMERT.

Entretien des routes vicinales en gravier, par M. F.-L. ORTT.

L'auteur passe en revue les influences diverses qui agissent sur la quantité de matériaux nécessaires à l'entretien des routes; par exemple, le trafic, la situation, la qualité des matériaux, la largeur, la méthode de construction et d'entretien. D'après son expérience personnelle, il donne des valeurs à ces influences ; le mémoire contient des tableaux graphiques intéressants.

Quelques chapitres sur la question de l'**électricité à haute tension,** par M. J.-D.-C.-M. DE ROSS.

LIVRAISON DU 22 JANVIER 1894

Défense des berges des canaux par la plantation de roseaux, par M. ORTT.

L'auteur établit que ce système de protection donne d'excellents résultats et réduit au minimum les dépenses d'entretien.

Relation entre la vitesse maxima et la vitesse moyenne dans un cours d'eau à parois en terre, par M. WISBOOM.

L'auteur a opéré des jaugeages dans un cours d'eau assez régulier ayant une largeur de 5 *m* et une profondeur maxima de 1,20 *m* aux hautes eaux et de 0,50 *m* aux basses eaux. C'est un cours d'eau comme on en rencontre fréquemment dans les polders. Les expériences amènent à conclure que la relation cherchée ne dépasse pas 0,60 à 0,65, tandis qu'on admet souvent 0,8 (Bresse, *Cours de mécanique appliquée*, donne 0,71 à 0,72). Les vitesses maxima variaient de 0,14 à 0,46 *m* par seconde.

Essais sur les mortiers en tras et en ciment dans l'eau de mer, par MM. KONING et BIENFAIT.

Nombreux résultats d'essais sur l'influence de l'eau de mer comme eau de confection et comme milieu de durcissement.

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

LIVRAISON DU 1er FÉVRIER 1894

Séance du 14 novembre 1893.

Communication de M. R.-P.-J. Tutein Nolthenius sur la **construction d'un siphon, système Monier** (béton et treillage de fer).

Ce siphon a 3,05 *m* de largeur à la base sur 3 *m* de hauteur. La communication est accompagnée de considérations théoriques et pratiques sur ce genre de construction relativement encore peu répandu.

Communication de M. Krap sur un **port intérieur** près de La Haye avec un canal parallèle à la Mer du Nord dans la direction du Hoek van Holland, embouchure de la Meuse, donnant accès au port de Rotterdam, projeté par M. van Heurn et lui.

La station balnéaire de Scheveningue ne comptant pas moins de trois cents bateaux de pêche, il a été question d'y construire un port. Ce projet n'a pas abouti, soit à cause de l'élévation du devis, soit par la crainte de compromettre la défense des côtes. M. Krap propose d'établir un canal derrière les dunes, lequel traverserait une région très cultivée et aboutirait d'un côté dans l'embouchure toujours accessible de la Meuse, de l'autre, à La Haye où pourrait être construit le port intérieur. Ce projet est précédé d'un exposé très complet et très intéressant de l'importance de la pêche à Scheveningue (surtout pour le hareng) et des variations qu'elle a subies depuis une époque déjà ancienne.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 5. — 3 *février* 1894.

Installation frigorifique des abattoirs municipaux de Halle-sur-Saale, par G. Gentlere.

Les machines frigorifiques, par H. Lorenz *(fin)*.

Le service des transports à l'Exposition de Chicago, par Kollmann *(suite)*.

Calcul dynamique des poutres métalliques, par A. Zschetzsche.

Vibration des machines à vapeur et équilibre des pièces en mouvement.

Variétés. — Développement de l'emploi des moteurs à gaz en Allemagne. — Prix pour moyens préventifs de la combustion spontanée du charbon. — Machines à vapeur de Schichau.

Correspondance. — Installation de turbines de la fabrique de ciment de Weisen.

N° 6. — 10 *février* 1894.

Installation d'une brasserie pour la production annuelle de 40 000 *hl*, par J. Schneider.

Installations frigorifiques en Amérique, par M. F. Gutermuth (fi
Le service des transports à l'Exposition de Chicago, par Kollmann (
Théorie des machines frigorifiques à acide carbonique, par C. Li
Fabrication mécanique des briques, par C. Schlickeysen.
L'usure des engrenages et ses conséquences, par Stribeck.
Variétés. — Projet de loi sur les installations électriques. — 19e
nion de l'Association allemande d'hygiène publique.
Correspondance. — Installations électriques de Dusseldorf. — Rec
truction d'un pont sur la gare centrale de Münich.

N° 7. — 17 *février* 1894.

Chauffage et ventilation de l'Exposition de Chicago, par H. Fischer (
Notes métallurgiques sur New-Jersey et le Lehigh Valley, par E
Dürre *(suite)*.
Calcul des guides de gazomètres, par N. Niemann.
Moteurs à pétrole à l'Exposition de boulangerie et de confiseri
Mayence en août 1893, par O. Berndt.
Expériences sur la résistance à la compression des rouleaux (cylin
de laminoirs et rouleaux de dilatation des ponts), par C. Bach.
Bibliographie. — Manuel de la métallurgie du fer, par A. Lebedu
Variétés. — Statistique des opérations de l'administration impé
des patentes d'invention pendant l'année 1893. — La construction
machines en Allemagne et en Amérique.

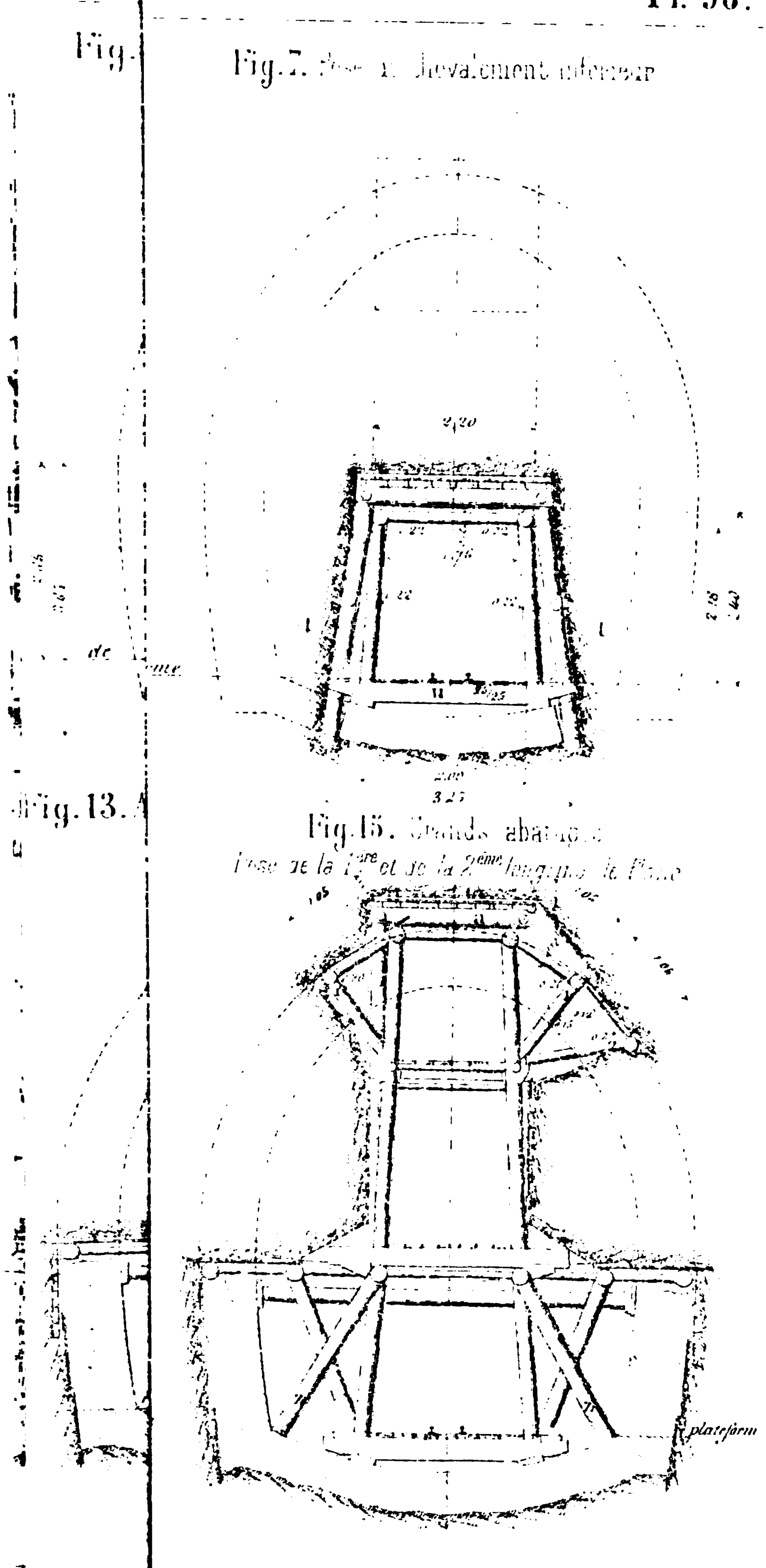
N° 8. — 24 *février* 1894.

Machines-outils pour le travail du bois à l'Exposition de Chicago,
Hermann Fischer.
Moteurs à pétrole à l'Exposition de boulangerie et de confiserie
Mayence en 1893, par O. Berndt *(fin)*.
Utilité des forces hydrauliques pour les stations centrales électriqu
par A. Calame.
Dragage. — Matériel de dragage pour l'exécution du nouveau port
Tandjong-Priok, près Batavia. — Drague porteuse à quatre hélices.
Groupe de Cologne. — Chauffage au lignite.
Bibliographie. — L'art du sondeur, par Tecklenburg.
Variétés. — Accident sur le cuirassé allemand *Brandenburg*.

Pour la Chronique et les Comptes rendus :
A. Mallet.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,
A. de Dax.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 5296-3-94. — (Encre Lorilleux).


Fig.
Fig. 7.
Fig. 13.
Fig. 15.
plateform

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

MARS 1894

N° 3.

Sommaire des séances du mois de février 1894 :

13° *Ciment avec ossature métallique (Application du calcul aux constructions en)*, par MM. Ed. Coignet et N. de Tédesco, et observations de MM. P. Rey, Chaudy et Bonna. (Séance du 16 mars), page 225;

Mémoires contenus dans le Bulletin de mars 1894 :

14° *Étude sur la Transformation des Grandes Gares Allemandes*, par M. P. Haag, page 230;

15° *Du calcul des ouvrages en ciment avec ossature métallique*, par MM. Ed. Coignet et N. de Tédesco, page 282;

16° Discours prononcé aux obsèques de M. Émile Barrault par M. X. Laprade, page 364;

17° *Chronique* n° 171, par M. A. Mallet, page 366;

18° *Comptes rendus*, par M. A. Mallet, page 378;

19° *Planches* n°s 99, 100, 101, 102.

Pendant le mois de mars 1894 la Société a reçu :

33771 — De M. Dubreuil (M. de la S.). *De l'influence des assemblages sur le prix de revient et sur la stabilité des planchers métalliques* (in-8° de 7 p. avec 1 pl.). Lille, L. Danel, 1893.

33772 — De M. Hermann Rietschel. *Der Stand der wissenschaftlichen und praktischen Wohnungs-Hygiene in Beziehung zur Luft* (grand in-8° de 19 p.). Berlin, 1894.

33773 — De M. Tchernoff. *Onastouplenii vozmogenosti mehkanitcheskhagho vozdoukhoplavaniya beze pomostchi ballona* (in-8° de 35 p. et 1 pl.). Saint-Pétersbourg, 1894.

33774 — De M. E. Polonceau (M. de la S.). *Note sur le système de distribution de vapeur à tiroirs d'admission et d'échappement indépendants, appliqué à des locomotives de la Compagnie du chemin de fer de Paris à Orléans* (in-8° de 16 p. avec 4 pl.). Paris, Ve Ch. Dunod, 1893.

33775 — De l'Iron and Steel Institute. *The Journal of the Iron and Steel Institute*, vol. XLIV, n° 2, 1893. London, 1894.

33776 — De M. C.-L. Weyher (M. de la S.). *Sur les tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes. Étude et expériences* (grand in-8° de 128 p. avec 3 pl.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1889.

33777 — De M. Mariano Barcena. *El clima de la ciudad de México* (in-8° de 24 p.). México, 1893.

33778 et 33779 — Du même. *Observatoire météorologique de Mexico. Résumé météorologique de seize ans, 1877 à 1892* (2 feuilles pliées format in-8°). Mexico, 1893.

33780 — Du même. *Observatoire météorologique de Mexico. Résumé général des observations météorologiques faites dans divers lieux de la République Mexicaine* (1 feuille pliée format in-8°). Mexico, 1893.

33781 — De M. Bergès (Aristide) (M. de la S.). *Eau, force, lumière à bon marché, par l'adduction des eaux de l'Ain à Lyon. Nouveau projet* (grand in-8° de 40 p.). Lyon. chez tous les libraires 1894.

33782 — De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs. *Traité général d'éclairage : huile, pétrole, gaz, électricité*, par L. Galine (grand in-8°, de 412 p.). Paris, E. Bernard, 1894.

33783 — De M. D. Federman (M. de la S.). *Progetto di acquedotto per fornire di acqua potabile la città di Mantova*, per Carli Enrico (in-4° de 89 p. avec 4 pl.). Verona, G. Franchini, 1888.

33784 — Du même. *L'acqua potabile e la forza idraulica a Bassano*, per Carli Enrico (in-4° de 103 p. avec 4 pl.). Bassano, Sante-Pozzato, 1892.

33785 — Du même. *Acquedotto di Verona*, per Carli Enrico (grand in-4° de 18 p. avec 6 pl.). Torino, A.-F. Negro, 1893.

33786 — Du même. *L'acqua potabile e la forza idraulica a Vicenza*, per Carli Enrico (grand in-4° de 89 p. avec 4 pl.). Vicenza, Tip. commerciale, 1892.

33787 — De la Société technique de l'industrie du gaz en France. *Compte rendu du 20e Congrès, tenu les 13, 14 et 15 juin 1893, à Paris.* Paris, P. Mouillot, 1893.

33788 — Du même. *Tables des matières contenues dans les comptes rendus des vingt premières années, 1874-1893.* Paris, P. Mouillot, 1893.

33789 et 33790 — Du Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts. *Album de statistique graphique de 1888 et de 1889.* Paris, Imprimerie nationale.

33791 et 33792 — De M. H. Couriot (M. de la S.), de la part de M. Sokolowski (M. de la S.). *Étude d'une méthode d'exécution des souterrains dans les terrains mous, fluents ou très ébouleux*, par L. Sokolowski (in-4° de 8 p. avec 15 pl. autog.). Paris, A. Gentil, 1892.

33793 à 33795 — De M. M. Scaife, de la Scaife Foundry and Machine Cie et de M. Crockeer de la Forest-Oil Cie. 1° *Burning Oil-Tank : Rixford, Pa. Capacity 36 000 bbls : Containing 29 000 bbls ;* — 2° *Torpedoing an Oilwell « Filling the Shell » ;* — 3° *Torpedoing an Oilwell the Flow*, par Jas A. Teulon (3 photographies format in-4° jésus). Bradford.

33796 — Du Board of Survey. *Annual Report of the Board of Survey for the year 1893, City of Boston.* Boston, 1894.

33797 — De M. J. de Coëne (M. de la S.). *Rapport sur les travaux du Congrès international des travaux maritimes* (grand in-8° de 24 p.). Rouen, E. Deshays et Cie, 1894.

33798 — De M. L.-T. Vernon-Harcourt. *The Benefits to be derived from the Improvement of Watesways Shif-Canals* (in-8° de 18 p.). Boston, 1893.

33799 et 33800 — De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs. *Revue technique de l'Exposition universelle de Chicago en 1893. 2e partie : Chaudières fixes et chaudières marines*, par MM. Grille, H. Falconnet et Lelarge. E. Bernard et Cie, 1894.

33801 — Du Comité spécial de l'Exposition. *Expositions réunies de 1894 à Milan. Exposition internationale ouvrière. Programme et règlement* (in-8° de 35 p.). Milan, 1894.

33802 — De M. Ph. Roux (M. de la S.). *Catalogue publié par Ph. Roux et Cie* (in-4° de 184 p.). Paris, Henon, 1893.

33803 — Du Directeur de l'École nationale des Ponts et Chaussées. *Atlas des voies navigables de la France. 2e série, 2e fascicule : Canal de l'Oise à l'Aisne* (grand in-4° de 6 p. avec 20 pl.). Paris, Imprimerie nationale, 1893.

33804 — De l'American Society of Mechanical Engineers. *Transactions, vol. XIV, 1893*. New-York, 1893.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois de mars sont :

Comme Membres sociétaires, MM. :

Ch.-E.-D. Comte,	présenté par MM.	Boulet, Goulet, E. Lippmann.
Ch.-J. Coueffin,	—	Chalon, de Nansouty, Zbyszewski.
L.-M.-E. Delaporte,	—	Charton, Marsaux, Mauguin.
J.-Ch.-E. Diligeon,	—	Brison, Jannettaz, E.-L. Martin.
Ch.-F.-J. Frairrot,	—	Courtier, Eyrolles, Jolibois.
H. Glaenzer,	—	S. Périssé, L. Périssé, de Dax.
F.-J. Guillon,	—	Albaret, de Dax, Michelin.
V.-J. Lafrance,	—	d'Anthonay, Couriot, Le Granché.
Ch.-H. Perrin,	—	Gallois, Lépany, Mouchelet.
M.-Ch.-A. Raclot,	—	Brison, Jannettaz, E.-L. Martin.
P.-P. Ruchonnet,	—	Brison, Jannettaz, E.-L. Martin.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MARS 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 2 MARS 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance précédente est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. H.-P.-A. Diard, membre de la Société depuis 1857.

M. le Président a le plaisir de faire part de la nomination de M. G. Broca, auteur du projet de reconstitution des magasins de décors et des ateliers de l'Opéra, comme membre de la Commission supérieure des Théâtres;

Et de celle de M. J.-G. Baudot comme Commandeur du Medjidié.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, liste qui sera publiée à la suite du procès-verbal.

M. le Président donne lecture de la dépêche suivante, reçue depuis la dernière séance.

« Saint-Pétersbourg, 22 février 1894.

» Le Congrès des Ingénieurs des Voies de communication, réuni à » l'Institut, ayant pris connaissance de la séance de la Société des Ingé- » nieurs Civils de France du 30 janvier, dans laquelle le professeur Bele- » lubsky a été l'objet d'un accueil si bienveillant, s'empresse de témoi- » gner ses sentiments de reconnaissance et d'amitié à ses chers Collègues » de France.

» Tadieff,
» *Président du Congrès,*
» *Directeur de l'Institut Ghercevanoff.* »

Il a été immédiatement répondu par une dépêche ainsi conçue :

« Société des Ingénieurs Civils de France adresse vifs remerciements » au Congrès des Ingénieurs des Voies de communication réunis à l'Ins- » titut, et envoie le témoignage de ses sentiments d'amitié à ses chers » Collègues de Russie.

» *Le Président*, DU BOUSQUET. »

Il a, en outre, été écrit des lettres particulières à M. Tadieff et aux Présidents de l'Institut et de la Société Impériale technique Russe. *(Applaudissements.)*

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'une Exposition universelle doit avoir lieu cette année à Anvers. Nous avons reçu de M. Muzet, Commissaire Général de la Section française, et de M. Mariani une circulaire à ce sujet. M. le Président ne peut qu'engager les membres de la Société à prendre part à cette Exposition, afin de contribuer à fortifier au dehors l'influence française combattue de tant de côtés différents.

L'ordre du jour appelle la communication de M. P. Haag sur *La Transformation des Grandes Gares Allemandes.*

M. P. HAAG présente tout d'abord dans un historique général de la question, la situation des chemins de fer, il y a vingt-cinq ans, en Allemagne et fait voir la nécessité où l'on s'est trouvé de transformer complètement l'état de choses existant à cette époque et, en particulier, les gares à voyageurs des grandes villes auxquelles M. Haag veut limiter son étude.

M. P. Haag expose quelles sont les solutions qui ont été adoptées : création de gares centrales où se trouvent réunis les services qui se trouvaient précédemment répartis dans plusieurs gares quelquefois accolées, mais plus souvent isolées, fréquemment même à de très grandes distances les unes des autres. Les anciennes gares ont été pour la plupart conservées et elles ont été, ainsi que leurs lignes de jonction, assez souvent utilisées pour la création de services urbains.

Les gares centrales sont généralement des gares de passage, exceptionnellement des gares terminus ; pour certaines, une solution mixte a été adoptée : ces dernières gares sont gares de passage pour quelques lignes, et gares terminus pour d'autres.

M. P. Haag classe les gares de passage en trois types, suivant que les bâtiments sont entièrement à l'extérieur des voies (premier type), ou avec bâtiment annexe sur quai intermédiaire, bâtiment principal à l'extérieur des voies (second type), ou enfin gare tout entière dans un îlot au milieu des voies (troisième type).

Les gares terminus forment le quatrième type.

Pour éviter le passage des voyageurs sur les voies mêmes, on ménage de larges tunnels inférieurs, solution d'autant plus satisfaisante que les voies ont été généralement relevées dans les grandes gares allemandes de 4 à 5 *m* au-dessus de la chaussée des rues avoisinantes pour supprimer les passages à niveau de ces rues, qui étaient une grande gêne pour la circulation dans les villes et pour l'exploitation des chemins de fer.

M. P. Haag fait ensuite la description détaillée des gares de Hanovre, Brême, Munster, Gœttingue, qui rentrent dans le premier type ; celles

de Hildesheim, Dusseldorf, Erfurt et Cologne, pour le second type; celles de Halle et Magdebourg pour le troisième.

Enfin, pour le quatrième type, M. Haag décrit la gare d'Anhalt, à Berlin et celle de Francfort et expose d'une manière très détaillée le remaniement général des gares de Dresde, comprenant la nouvelle gare centrale, le viaduc métropolitain et la gare intermédiaire métropolitaine, la gare de la rive droite, la création d'une vaste gare centrale de triage, les gares de marchandises, le port fluvial de l'Elbe et décrit aussi l'ordre d'exécution des travaux et donne l'estimation des dépenses. Il y a là un travail d'ensemble très important et on peut dire unique au monde.

Les plans de ces gares sont successivement représentés en projection sur le tableau.

M. P. Haag termine en présentant quelques observations générales sur les gares précédemment décrites et sur la question d'aspect. Il fait remarquer combien les dernières construites sont, au point de vue architectural, plus satisfaisantes que les premières grandes gares créées.

Comme conclusion, M. Haag compare ce qui a été fait en Angleterre par l'initiative privée des Compagnies se faisant librement concurrence; en Allemagne où l'initiative revient tout entière à l'État, et en France où il y a un régime mixte : l'initiative des Compagnies sous le contrôle et la tutelle de l'État s'énerve tandis que l'État, d'autre part, n'en prend aucune.

M. P. Haag dit qu'il a laissé avec intention de côté les travaux faits spécialement dans un intérêt stratégique pour ne parler que de ceux qui intéressent particulièrement les voyageurs. Ces travaux sont essentiellement productifs et destinés à favoriser le développement des villes, d'autant plus qu'ils ont toujours été combinés avec des travaux de voirie importants et bien étudiés.

Les ressources ont été fournies par les produits mêmes de l'exploitation.

M. le Président remercie vivement M. Haag de sa très savante communication, mais il ne peut s'empêcher de penser que tous ces travaux ont été rendus possibles grâce à l'argent français. Il n'y a pas moins un grand intérêt à suivre ce qui se fait à l'étranger.

La communication sera insérée *in extenso* au *Bulletin*.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. Ch. Comte, Ch.-J. Coueffin, L.-M.-E. Delaporte, J.-Ch.-E. Diligeon, Ch.-F. Frairrot, H. Glaenzer, F.-J. Guillon, M.-Ch.-A. Raclot et P.-P. Ruchonnet comme membres sociétaires.

MM. V.-J. Lafrance et Ch.-H. Perrin sont reçus membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures un quart.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE SUPPLÉMENTAIRE DU 9 MARS 1894

PRÉSIDENCE DE M. J. CHARTON, VICE-PRÉSIDENT

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT exprime à la Société les regrets de M. du Bousquet qui s'est trouvé, au dernier moment, empêché d'assister à cette séance.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a reçu, au sujet du procès-verbal de la séance du 16 février, une lettre de notre collègue M. Gabriel Faurie, ancien capitaine d'artillerie, dans laquelle ce dernier exprime ses regrets de n'avoir pu assister à la discussion de la communication de M. M. du Vignaux.

M. G. FAURIE estime, en effet, que l'on a injustement critiqué le chargement des bouches à feu par gargousses métalliques, car ce système seul, d'après lui :

1° Garantit la chambre contre les érosions dangereuses ;

2° Assure l'invariabilité des dimensions et des formes de la charge ;

3° Régularise l'inflammation de la poudre ;

4° Répartit logiquement les percussions ;

5° Protège et abrite le chargement.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'il sera fait mention de ces observations au procès-verbal.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de :

M. Henri Tardieu, Ingénieur des Arts et Manufactures, promotion 1852, ancien Agent général du Comité central des Fabricants de Sucre de France, fondateur et directeur de la revue *la Sucrerie Indigène et Coloniale*, membre de la Société depuis 1853 :

M. le Mis Robert de Beauchamp, commandeur de la Légion d'honneur, ancien député et ancien sénateur de la Vienne, agriculteur éminent et propriétaire de l'importante distillerie de topinambours et usine de rectification d'alcool de Lhommaizé; membre associé de la Société depuis 1874.

M. CH. DESOUCHES a fait parvenir à la Société une note sur un *Mode hygiénique de chauffage des Voitures* dont il est l'auteur.

M. LE SECRÉTAIRE donne communication de cette note.

M. Ch. Desouches y critique l'emploi de la chaufferette à l'acétate de soude ainsi que celui de la chaufferette à eau chaude ; en effet, la température de l'une et de l'autre va en diminuant à partir du moment où elles sont mises en service; tandis que c'est le contraire qui se passe avec les chaufferettes à charbon, dont la température se maintient constante a ı t que dure la combustion de la briquette.

M. Ch. Desouches a tout d'abord essayé de placer simplement la chaufferette ordinaire à charbon sous la voiture au lieu de la placer à l'intérieur, le plancher se trouvant supprimé au-dessus, les pieds reposant sur la plaque métallique supérieure de la chaufferette. Mais, pendant la marche de la voiture, il s'établissait par les trous d'aérage un courant d'air assez vif pour enlever toute la chaleur dégagée et dans ces conditions la chaufferette ne donnait aucune chaleur.

Pour parer à cet inconvénient la chaufferette a été modifiée, on n'a laissé que très peu d'ouvertures d'aérage sur les faces latérales et une double enveloppe en tôle empêche la déperdition de la chaleur.

La chaufferette se place dans une cavité pratiquée exactement à sa mesure dans le fond de la voiture, de telle sorte que les gaz de la combustion s'échappent à l'extérieur; les trous d'aérage suffisent pour que les briquettes ne s'éteignent pas; suivant la température extérieure on met dans la chaufferette une ou plusieurs briquettes, si on le juge nécessaire.

Ce mode de chauffage des voitures est adopté par la Compagnie des Omnibus de Paris pour une partie de ses voitures; il l'est également par la Compagnie des Pompes Funèbres de la banlieue de Paris pour les voitures de deuil, et il commence à se répandre en Belgique et en Suisse.

M. le Président donne ensuite la parole à M. H. Couriot pour sa communication sur *la Méthode Sokolowski pour l'exécution des tunnels en terrains mous, fluents ou très ébouleux.*

M. H. Couriot, au nom de M. Sokolowski, fait hommage à la Société d'un album contenant tous les dessins relatifs à l'exécution des tunnels par la méthode conçue par l'auteur. Cette étude contribuera à enrichir la bibliothèque où elle sera consultée avec fruit par tous les membres que la question intéresse.

M. H. Couriot rappelle d'abord quelles sont les difficultés à surmonter lorsqu'on est conduit à établir un tunnel dans les terrains fluents ou très ébouleux. Il fait ensuite l'examen critique des différentes méthodes actuellement employées; de leur étude et des avantages ou inconvénients qu'elles présentent, doit se dégager la méthode rationnelle à laquelle il conviendra de recourir.

Puis M. H. Couriot décrit en détail la méthode préconisée par M. Sokolowski, qu'il explique à l'aide de *projections* faites au tableau.

Cette méthode a pour but de répondre aux divers *desiderata* exprimés au cours de l'étude critique précédente, en cherchant à porter remède aux inconvénients signalés. Elle se rapproche beaucoup de la méthode autrichienne, mais présente sur elle l'avantage de limiter la durée du boisage et de permettre d'édifier la maçonnerie dans chaque partie de la section totale, dès que l'excavation est terminée, pour éviter que les terrains n'aient le temps de se désagréger et de se mettre en mouvement sous l'action des agents atmosphériques.

M. H. Couriot conclut en disant que cette méthode peut rendre aux constructeurs de grands services dans la traversée des terrains très éb ouleux.

M. le Président remercie M. Sokolowski d'avoir fait à la Société hommage de son très intéressant travail et M. H. Couriot, si compétent en ces questions, de l'avoir si clairement exposé à l'assemblée.

L'ordre du jour appelle la communication de M. A. Lencauchez sur *les Condenseurs à jet de vapeur.*

M. Lencauchez rappelle qu'en 1890 il a présenté, en collaboration avec M. Durant, membre de la Société, un mémoire sur *la Production de la vapeur, etc.*

Dans ce mémoire il est dit que, d'après leurs nombreuses expériences, ainsi que d'après celles faites au Creusot d'une manière très complète par M. Delafond, ingénieur en chef des mines, avec le concours de M. Barba, ingénieur en chef, et de M. Compère, notre collègue, on a obtenu le cheval-vapeur effectif mesuré sur l'arbre, avec une consommation, par heure, de 9,27 *kg* de vapeur, lorsque la machine marchait à condensation et de 10,74 *kg*, la même machine marchant à échappement libre (c'est-à-dire sans condensation), avec une pression de 7,75 *kg* dans les deux cas. M. Lencauchez ajoute que, le réchauffage de l'eau d'alimentation donnant une économie de 14 0/0, si l'on avait réchauffé à 100° l'eau d'alimentation du générateur servant aux expériences du Creusot, la dépense de la marche sans condensation se serait réduite à 10,74 *kg* $\times$ 0,86 *kg* $=$ 9,24 *kg*, chiffre très peu différent de 9,27 *kg*; 9,27 *kg* — 9,24 *kg* $=$ 0,03 *kg*. En pratique, une telle différence est négligeable, puisqu'elle est inférieure à 0,33 0/0. M. Lencauchez conclut de là qu'il n'y a aucune différence entre une installation Corliss ou Sulzer, marchant à condensation et au timbre de 6 *kg*, et une autre, semblable, marchant à 12 *kg* sans condensation, avec échappement dans un réchauffeur-épurateur d'eau d'alimentation à 100°, à la condition, toutefois, que, dans les deux cas, la construction soit aussi parfaite que possible.

Puis, M. Lencauchez fait remarquer qu'en pratique 1 *kg* de vapeur d'échappement peut porter à 100°... $(1\ kg \times 0{,}8\ kg) \times \left(\frac{636^{cal}}{100^{cal} - 30^{cal}}\right) =$ 7 *kg* d'eau d'alimentation prise à $+$ 30° dans la bâche de la pompe à air. On peut donc, dans les grandes installations de 1 000, 1 500, 2 000 *chx* de force et au-dessus, avoir les $\frac{8}{10}$ de cette force à condensation et les $\frac{2}{10}$ à échappement libre, dans un réchauffeur déjecteur, pouvant porter à 100° la totalité de l'alimentation du groupe des chaudières, car, dans ces conditions, on réalise une nouvelle économie sur la marche à condensation $\frac{100^{cal} - 30^{cal}}{660^{cal} - 30^{cal}} = 11\ 0/0$.

Donc, dit M. Lencauchez, si dans le cas d'une seule machine isolée, la condensation est sans utilité, elle peut au contraire, dans les groupes de plusieurs machines, en la combinant avec le réchauffage de l'eau d'alimentation à 100°, devenir la source d'une nouvelle économie de 10 0/0 en bonne pratique industrielle.

Arrivant à l'objet principal de sa communication, M. Lencauchez fait

remarquer qu'un condenseur simple, peu encombrant, dépourvu d'organes mécaniques, peut présenter un grand intérêt :

1° Pour les grandes puissances où $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{7}$ de ces puissances peut, par l'échappement libre dans un réchauffeur-épurateur, permettre de réaliser une économie de 10 0/0 avec la marche à condensation.

2° Pour les machines existantes, devenues insuffisantes, souvent timbrées entre 4 et 6 *kg*, puisque la condensation peut faciliter la marche avec une détente utile plus prolongée, donnant dans la pratique ou une économie de 20 0/0 ou une augmentation de puissance de 20 0/0 également.

3° Pour les machines à grande vitesse, marchant entre 250 et 400 tours à la minute qui, pour fonctionner à condensation, réclament avec le condenseur à pompe à air, des complications mécaniques, coûteuses en frais d'établissement et d'entretien, réduisant à peu de chose et souvent à rien le bénéfice de la condensation.

Les expériences de M. Lencauchez sur les pompes à air et sur les pompes d'alimentation, lui font considérer la vitesse ou mieux le nombre de tours de manivelle par minute, comme ne devant pas dépasser 240 révolutions, soit un nombre de coups simples de piston de 480, donc par seconde $\frac{480}{60} = 8$ coups. Aussi pour les installations de transmissions électriques *par action directe*, le condenseur dit à jet ou la trompe de condensation semble indispensable.

M. Lencauchez donne ensuite des détails sur la construction et le fonctionnement de cet appareil dont la description figure dans le mémoire qui a été inséré au *Bulletin* de février.

M. le Président remercie M. Lencauchez de son intéressante communication.

La séance est levée à 10 heures.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 16 MARS 1894

Présidence de M. du Bousquet, Président

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. le Président dit qu'il a reçu de M. Ch. Gallois, à l'occasion du décès de M. H. Tardieu, annoncé à la séance du 9 mars, deux numéros de la *Sucrerie indigène*, contenant les discours prononcés sur la tombe de ce regretté collègue. Ces discours seront déposés aux archives.

M. le Président dépose sur le Bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance ; cette liste sera publiée à la suite du procès-verbal.

M. le Président annonce que la Société a reçu avis d'un concours qui aura lieu le 2 avril prochain pour la nomination d'un professeur de dessin et de technologie à l'École d'Arts et Métiers de Châlons.

Le programme est déposé au Secrétariat.

Par suite d'un changement des mémoires à faire paraître dans le Bulletin de février, ce numéro subira un retard dans sa publication.

Une erreur de l'imprimeur a fait disparaître pendant le tirage de l'Annuaire les noms de nos collègues :

MM. Goldenberg (P.-F.-A.).
Goldschmidt (Ph.).
Goldschmidt (Th. chevalier de).

Ces noms doivent être ajoutés à la page 171 de l'Annuaire, et, à la page 232, le nom de :

M. Provê (A.).

M. le Président dit qu'il a reçu de M. le Ministre du Chili à Paris, une lettre qui lui annonce qu'une Exposition minière et métallurgique s'ouvrira au mois de septembre prochain à Santiago.

M. le Ministre du Chili invite la Société et ses membres à participer à cette Exposition.

Les documents relatifs à cette Exposition sont déposés au Secrétariat.

M. le Président donne la parole à M. P. Chalon sur ce sujet.

M. Chalon dit que le Chili est un pays producteur très riche au point de vue métallurgique et aussi au point de vue agricole. Les membres de la Société se souviennent certainement de la communication si intéressante faite sur le Chili par M. Ch. Vattier. Les exploitations minières y sont en pleine activité et les exploitations métallurgiques en bonne voie ; très prochainement des hauts fourneaux y seront installés.

L'Exposition est organisée par la Société Nationale des Mines, sous le patronage du Gouvernement qui lui a accordé des crédits importants. Elle offre de grandes facilités aux industriels : transports terrestres et maritimes, tant à l'aller qu'au retour, aux frais du comité directeur de l'Exposition, pour les produits exposés et pour les ouvriers ou opérateurs envoyés au Chili pour l'installation et le fonctionnement des machines et appareils exposés. Ces frais seront payés par la Légation du Chili à Paris.

Le programme de l'Exposition est très complet, et, par son étendue même n'intéresse pas seulement l'industrie des mines et la métallurgie, mais toute l'industrie, en général.

La personne qui est chargée spécialement de cette Exposition à la Légation du Chili est un ancien élève de l'École centrale, M. Domingo Vega, consul général, qui est même très désireux de faire partie de notre Société : les collègues qui s'adresseront à lui recevront le meilleur accueil et tous les renseignements désirables.

M. Chalon termine en engageant vivement les industriels français à participer à cette Exposition, ce qu'ils peuvent faire dans des conditions particulièrement avantageuses.

M. le Président remercie M. Chalon des renseignements qu'il vient de donner et aussi de ce qu'il veut bien amener à la Société un nouveau membre.

Le Comité examinera la question de savoir si la Société exposera à l'Exposition de Santiago.

L'ordre du jour appelle la communication de MM. Ed. Coignet et N. de Tedesco sur l'*Application du calcul aux Constructions en ciment avec ossature métallique.*

M. Ed. Coignet prend la parole et, après avoir rappelé les noms des promoteurs des constructions en ciment à armatures métalliques, il en expose les avantages. Il examine ensuite les qualités à rechercher dans les matériaux qui entrent dans la constitution de ces ouvrages : nature du métal et du ciment, composition des mortiers, forme des fers, et, à ce propos, démontre que la section circulaire est plus avantageuse que tout autre profil.

Il divise ces ouvrages en trois classes, suivant qu'ils travaillent à l'extension, à la compression ou à la flexion, et il traite successivement chacune d'elles, en développant les méthodes de calcul qui permettent d'en déterminer les proportions d'une façon rationnelle. Il montre le rôle que joue, dans ces ouvrages, le coefficient d'élasticité des mortiers de ciment et rend compte du résultat de ses expériences personnelles, faites en vue de la détermination de ce coefficient. Il applique ces règles théoriques au calcul de quelques poutres d'essai et explique pourquoi elles accusent une rigidité plus grande que ne le font les poutres métalliques, tout d'abord en raison de la proportion même de la masse tendue qui élève l'axe neutre, ensuite, à cause de la solidarité absolue, avec elles, de tous les autres éléments contraints, par leur adhérence, à prendre leur part de cette fatigue, part qu'il évalue approximativement, par la comparaison de poutres différemment constituées.

M. Ed. Coignet expose la manière dont il a établi le coefficient d'adhérence dont il vient de parler ; il manifeste son intention d'étudier de près le travail du ciment à l'extension, travail encore mal connu et dont la connaissance approfondie peut seule confirmer ou infirmer ses hypothèses, et il promet de communiquer les résultats de ses nouvelles recherches.

La communication de M. Coignet sera publiée *in extenso* au *Bulletin.*

M. le Président remercie MM. Ed. Coignet et N. de Tedesco de leur communication : en réussissant à allier le ciment au fer, on a résolu un grand problème. Il donne ensuite la parole à M. P. Rey.

M. P. Rey dit qu'il a eu, il y a deux ans, à construire avec M. Dumesnil des réservoirs à parois planes destinés à supporter une pression de 3 *m* d'eau ; d'où nécessité d'appliquer le calcul à leur construction.

M. Coignet n'avait pas présenté à ce moment l'intéressante communication que l'on vient d'écouter et les documents sur la question manquaient de précision. M. P. Rey a étudié les expériences faites en Allemagne et celles plus précises de M. Durand-Claye. Les conclusions qu'il en a tirées sont d'accord avec celles de M. Coignet.

M. P. Rey dit qu'il faut notamment étudier avec le plus grand soin

les allongements du métal et celui du ciment à employer. C'est ce qui permet de déterminer le travail que l'on peut donner au fer et celui que l'on peut donner au ciment. Des expériences sont indispensables pour chaque cas.

M. P. Rey est également d'accord avec M. Coignet au sujet de la substitution de l'acier au fer. Sous le même effort l'acier s'allongeant moins que le fer, le ciment aura moins de chances de rupture.

Au sujet du profil à adopter pour les fers M. P. Rey préfère les fers carrés aux fers ronds ; ils ne sont pas d'un prix supérieur à ces derniers, ils offrent une plus grande surface et par suite plus d'adhérence avec le ciment.

M. P. Rey n'a pas constitué de la même manière que M. Coignet les parois et notamment les poutres ; au lieu d'un fer principal il a un véritable maillage dans la région tendue. Ces travaux exécutés par M. Dumesnil sont en service depuis plus de dix-huit mois et il ne s'y est manifesté aucune fissure.

M. P. Rey signale l'influence de la largeur des mailles : deux dalles semblables l'une à mailles carrées, l'autre à mailles plus allongées ne travaillent pas dans les mêmes conditions, celle à mailles allongées prend une flèche plus considérable. Les mailles carrées doivent donc être préférées.

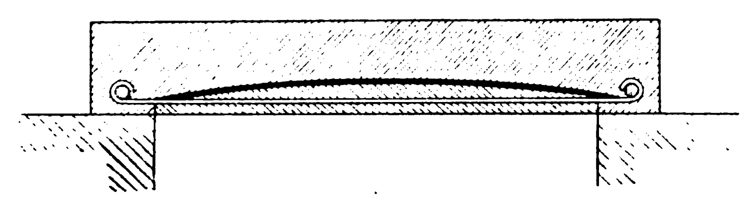
M. le Président remercie M. P. Rey de ses observations et donne la parole à M. Chaudy.

M. Chaudy appelle l'attention de l'assemblée sur les situations respectives qui seraient faites au fer et au ciment dans les conduites et dans les réservoirs circulaires d'une part. et, d'autre part, dans les pièces fléchies.

En ce qui concerne les constructions de forme cylindrique, il dit que toute la matière, fer et ciment, supporte exclusivement des efforts d'extension. Or, dans ces conditions, si on fait supporter au fer un effort de 8 *kg* par millimètre carré de section, le ciment supportera un effort d'extension de 20 *kg* par centimètre carré, puisqu'on admet généralement le chiffre 40 comme rapport entre les coefficients d'élasticité du fer et du ciment. Un pareil effort ne peut être toléré dans des constructions importantes puisqu'il conduirait très probablement à la production de fissures. Mais, d'un autre côté, si l'on fait supporter seulement au ciment un effort de 4 *kg* par exemple, il en résulte qu'on ne fait plus travailler le fer qu'à 1,60 *kg*, ce qui est évidemment bien peu logique. M. Chaudy pense donc que la forme circulaire ne se prête pas aux applications du ciment armé lorsqu'on a pas pris certaines dispositions qui font intervenir la compression dans le ciment.

En ce qui concerne les pièces fléchies, il fait remarquer que là le ciment se partage en deux régions, l'une qui est comprimée, et l'autre qui est tendue. Il dit que pour empêcher les fissures, qui sont susceptibles de se produire, et de diminuer l'importance de la région qui sera comprimée, il faut séparer par une couche faible de mortier peu résistant la partie tendue de la partie comprimée. Cette couche affectera la forme d'une surface cylindrique de telle sorte qu'on aura

une véritable voûte très surbaissée et résistant à la compression. Si des fissures venaient à se produire dans la région tendue entourant le fer, elles s'arrêteraient nécessairement à la couche séparatrice, puisque celle-ci ne formerait qu'une liaison très peu résistante entre la région tendue



et la région comprimée. M. Chaudy déclare qu'une pareille disposition peut bien être négligée dans des pièces n'ayant pas à supporter d'énormes charges, mais que, s'il s'agit de ponts par exemple, son emploi offrira toute la sécurité qu'on n'aurait pas sans elle.

M. Ed. Coignet ne peut admettre les observations de M. Chaudy qui ne tient pas compte de l'expérience acquise. M. Chaudy croit qu'un réservoir de 10 *m* de diamètre construit d'après les procédés indiqués ne pourrait résister, mais il en existe de bien plus considérables qui se comportent très bien.

MM. Ed. Coignet et N. de Tedesco ont essayé d'apporter un peu de lumière dans cette question de travaux à ossature métallique, bien obscure jusqu'à ces derniers temps comme l'a dit M. P. Rey, mais les constructeurs n'ont pas attendu cela pour exécuter des travaux importants de cette nature et des travaux qui ont donné toute satisfaction.

M. Ed. Coignet ne croit pas qu'une fissure produite dans la partie qui travaille à l'extension puisse se prolonger dans la partie qui travaille à la compression ; elle s'arrête nécessairement à un moment donné. Avec la méthode de calcul qu'il vient d'indiquer il n'y a pas à craindre d'ailleurs des fissures dans la partie qui travaille à l'extension. S'il s'en produisait, c'est qu'on aura dépassé les limites de la prudence et alors il arriverait ce qui se produit pour les ouvrages métalliques établis dans de mauvaises conditions.

Devant les résultats de l'expérience on ne peut dire qu'il se produira nécessairement des fissures dans les parties qui travaillent à l'extension; il faut seulement tâcher de se rapprocher, autant que possible, des formes et conditions rationnelles.

M. Bonna confirme les appréciations de M. Ed. Coignet sur les constructions à armature métallique et ciment.

Il pense que l'on peut aujourd'hui exécuter avec ce système des ouvrages de grandes dimensions et que l'on peut aborder sans crainte la construction de tuyaux de grands diamètres devant supporter de fortes pressions, en adoptant certaines dispositions pour assurer l'étanchéité des conduites.

L'avantage de ces constructions consiste dans leur plus grande durée et, notamment, dans la réduction du prix de revient et des frais d'entretien.

M. Bonna cite, à l'appui de cette opinion, l'expérience qui a été faite récemment par M. Launay, Ingénieur des ponts et chaussées, chargé du service de l'assainissement de la Seine, sous la direction de M. Bechmann, Ingénieur en chef de la ville de Paris.

Un tuyau de 0,500 *m* de diamètre intérieur, composé de deux bouts de 2*m* de longueur, réunis par un joint spécial, a été soumis aux essais de pression à l'usine municipale de Clichy. Ce tuyau était composé d'un tube intérieur en tôle d'acier, recouvert d'une armature hélicoïdale constituée par des spires en acier profilé en ┬ pour le premier tronçon, et en fil d'acier rond pour le second. L'armature métallique était noyée dans un remplissage en mortier de ciment d'une épaisseur de 0,035 *m* au dosage d'une partie de ciment pour une partie de sable.

Le tube intérieur en tôle, d'une épaisseur de 1,3*mm*, était rivé suivant une génératrice avec des rivets de 3,5 *mm*.

Les aciers profilés avaient 8 *mm* sur 8 *mm* et 1,2 *mm* d'épaisseur moyenne. Leur section était de 21,5 mm^2 avec un poids de 0,170 *kg* par mètre linéaire. Les fils d'acier ronds avaient un diamètre un peu supérieur à 0,005 *m* et correspondaient comme section et comme poids aux aciers profilés.

Le tuyau soumis aux essais avait été calculé pour résister à une pression de 20 *m*, en adoptant comme coefficient de tension maxima 8 *kg* par millimètre carré.

L'espacement des spires était en effet de 0,035 *m* d'axe en axe.

Le poids de l'armature métallique ne s'élevait qu'à 8,3 *kg* par mètre linéaire.

La jonction des deux bouts de tuyau était faite par un joint spécial, composé d'un anneau en caoutchouc avec deux bourrelets intérieurs, serré concentriquement au moyen d'un collier de serrage avec deux boulons.

Le tuyau ainsi assemblé était fermé à ses deux extrémités par deux plaques pleines en tôle d'acier ; ces plaques étaient consolidées par deux cornières transversales reliées entre elles par quatre barres longitudinales. Un boulon central de la longueur du tuyau limitait son écartement longitudinal.

Le tuyau ainsi disposé a été soumis aux essais de pression effectués à l'aide d'une presse hydraulique et d'un manomètre très sensible.

La pression s'est élevée progressivement, et lorsqu'elle est arrivée à 2 *kg*, les barres longitudinales se sont tendues lentement jusqu'à ce que les deux tronçons du tuyau aient atteint leur écartement maximum.

La tension progressive des barres, qui a été remarquée jusqu'à la pression de 3 *kg*, a démontré, par expérience, l'élasticité du joint.

Jusqu'à 5,50 *kg*, le tuyau ne présentait rien d'anormal. A partir de cette pression (56 *m*), un léger suintement a été constaté sur la ligne de rivure du tube intérieur en tôle, mais seulement sur le tronçon de tuyau, dont les spires étaient formées de fil d'acier rond.

Les essais furent continués ; la pression s'est élevée lentement jusqu'à 11,50 *kg*, c'est-à-dire 118 *m*, et ce n'est qu'à cette pression que l'on constata également un léger suintement sur la ligne de rivure du tube intérieur pour la partie du tuyau formée d'acier profilé en ┬.

A la pression de 12 *kg*, les essais furent interrompus ; les cornières de consolidation fixées aux plaques pleines, cédant sous la pression, se courbaient de telle façon que l'étanchéité du joint des plaques de fond ne pouvait être maintenue.

Pendant les essais, le joint central a parfaitement résisté sans présenter aucun suintement.

Après l'expérience, les deux tronçons de tuyau ont été coupés. L'enveloppe en ciment était parfaitement adhérente au tube intérieur. En effet, le retrait du ciment se faisant concentriquement, le tube intérieur se trouve comprimé régulièrement sur toute sa circonférence et forme en quelque sorte corps avec l'enveloppe en ciment. Le tube se trouve, par suite, protégé contre l'oxydation d'une manière aussi efficace que les aciers qui composent l'armature.

Cet essai a donc démontré, contrairement aux idées émises par MM. Ed. Coignet et N. de Tedesco dans la communication très intéressante qu'ils viennent de faire à la Société, que les fils d'acier ronds de même section que les aciers profilés en † ont commencé à travailler à la pression de 5,50 *kg*, tandis que les aciers profilés n'ont travaillé qu'à 11,50 *kg*.

M. Bonna fait en outre remarquer que le tuyau soumis aux essais, qui avait été calculé pour résister à une pression de 20 *m*, a pu atteindre, sans suintement pour la partie composée d'aciers profilés en †, la pression considérable de 118 *m*, soit une pression cinq fois plus grande.

Le tube intérieur a pour but unique d'assurer l'étanchéité du tuyau que la porosité du ciment ne permet pas d'obtenir immédiatement pour de hautes pressions. L'armature métallique et l'enveloppe en ciment donnent la résistance au tuyau et le tube intérieur assure son étanchéité. Ces tuyaux ne paraissent pas devoir se rompre en service normal, puisque les aciers profilés en † sont calculés pour une charge bien inférieure à leur limite de rupture.

M. Bonna fait ensuite connaître qu'il doit exécuter prochainement, pour le compte de la Ville de Paris, une conduite de refoulement de 1,80 *m* de diamètre, devant supporter une pression de 25 à 30 *m* à la partie inférieure. Cette conduite sera formée de tuyaux en acier en † et ciment avec tube intérieur de son système. Il demande à M. le Président de vouloir bien l'autoriser à faire ultérieurement une communication spéciale sur l'exécution de ce travail important, qui sera terminé en 1894.

M. le Président dit que la Société sera très heureuse d'entendre cette communication, et il remercie M. Bonna de ses observations.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. Ph.-M. Biéber, R. Dubois, X. Hoffer, M. Paciurea, P.-A. Peterson et E. Vautelet comme membres sociétaires.

MM. Ch.-E.-D. Comte, Ch.-J. Coueffin, L.-M.-E. Delaporte, J.-Ch.-E. Diligeon, Ch.-F.-J. Frairrot, H. Glaenzer, F.-J. Guillon, M.-Ch.-A. Raclot et P.-P. Ruchonnet sont reçus membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures un quart.

ÉTUDE

SUR LA

TRANSFORMATION DES GRANDES GARES ALLEMANDES

PAR

M. P. HAAG

I. — HISTORIQUE GÉNÉRAL DE LA QUESTION

II. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES SOLUTIONS ADOPTÉES

III. — DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES GARES

Quatrième type (Berlin-Anhalt, Francfort).

REMANIEMENT GÉNÉRAL DES GARES DE DRESDE

État primitif et bases générales du remaniement en cours d'exécution

IV. — OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES GARES PRÉCÉDEMMENT DÉCRITES : QUESTIONS D'ASPECT

V. — CONCLUSION

ÉTUDE SUR LA TRANSFORMATION
DES
GRANDES GARES ALLEMANDES

PAR

M. P. HAAG

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES

HISTORIQUE GÉNÉRAL DE LA QUESTION

Depuis une quinzaine d'années, les besoins croissants du trafic joints au désir d'améliorer les conditions générales des transports, ont amené le gouvernement allemand à remanier complètement la plupart de ses grandes gares. Le rachat des lignes appartenant primitivement à des Compagnies et la transformation de leurs réseaux en un certain nombre de grands réseaux d'État, ont puissamment contribué à hâter et à faciliter ce remaniement, d'une part en concentrant l'ensemble des voies ferrées sous une direction unique, d'autre part en intéressant directement les finances de l'État dans la réalisation de ces grands travaux.

Le tableau suivant permet de se rendre compte de l'importance des dépenses déjà effectuées ou de celles qui restent à faire.

DÉPENSES FAITES OU A FAIRE PAR L'ÉTAT

1° Chemins de fer de l'État prussien :		
Berlin	1° Stadtbahn	68 000 000 marcs (1).
	2° Gare d'Anhalt	14 000 000
	3° Gare de Potsdam	10 000 000
Francfort		24 850 000
Cologne		24 500 000
Hanovre		19 500 000
Dusseldorf		16 300 000
Halle		11 000 000
Brême		9 500 000
Erfurt		6 200 000
Munster		3 500 000
Hildesheim		2 650 000
2° Chemins de fer de l'État saxon :		
Gares de Dresde (premières prévisions)		50 000 000
Ensemble		260 000 000 marcs (2).

(1) 1 marc = 1,25 f.

(2) De ce total il faudrait déduire, il est vrai, certaines sommes provenant de la revente de parcelles de terrain non utilisées. Ces reventes ont atteint, comme on le verra plus

Soit au total une dépense de 325 millions de francs que doivent grossir encore les travaux relatifs à un certain nombre de transformations actuellement à l'état d'étude, celles des gares de Leipzig, de Hambourg et de Breslau, par exemple.

Des Compagnies privées, justement soucieuses des dividendes de leurs actionnaires, auraient reculé sans doute devant l'importance de pareilles dépenses. L'État, plus préoccupé des questions d'intérêt général, a pu les accepter, et, au point de vue économique, son initiative en pareille matière se trouvait pleinement justifiée, car l'accroissement incontestable qui devait résulter de cette œuvre de transformation dans la puissance et dans la sécurité des transports, était destinée à réagir tôt ou tard d'une façon assurée sur l'ensemble de la prospérité publique.

La transformation des gares allemandes peut donc présenter un double sujet d'études, soit qu'envisageant la question à un point de vue exclusivement technique on examine les aménagements généraux et les dispositions très remarquables adoptées dans les nouvelles gares, soit qu'au point de vue financier et économique on cherche à se rendre compte des ressources avec lesquelles ces grands travaux ont pu être réalisés et de l'influence qu'ils exercent dès à présent sur le mouvement des recettes et sur le développement général du trafic. Mais, dans le travail actuel, je ne ferai qu'effleurer ce dernier et très intéressant côté de la question et je m'attacherai principalement au côté purement technique.

Lorsque s'est constitué, il y a une cinquantaine d'années, le réseau des chemins de fer allemands, en raison du morcellement du pays en nombreux États indépendants, les lignes se formèrent par tronçons assez courts et généralement convergents vers les capitales de chaque État. Il en résultait peu d'unité dans l'ensemble et des remaniements furent jugés nécessaires lorsqu'on se préoccupa plus tard de faciliter et de rendre plus rapides les communications à grande distance. Certaines lignes durent être rectifiées et des jonctions furent établies entre les différents tronçons qui primitivement ne se soudaient pas entre eux. Je me sou-

loin, pour les gares de Francfort et de Dusseldorf, des chiffres considérables. On doit remarquer, d'autre part, que dans le tableau ci-dessus il n'est tenu compte que de la part de l'Etat, ou plus exactement encore de l'administration des chemins de fer de l'Etat, dans les dépenses effectuées. Ainsi, pour la gare de Francfort, par exemple, la dépense totale, s'élevant à 36 millions en nombre rond, a été supportée pour un tiers par la Compagnie de la Hessische-Ludwigsbahn. A Dresde, d'autre part, le chiffre de 50 millions de marcs ne comprend ni les dépenses de voirie à la charge de la ville, ni les frais d'établissement du port de l'Elbe, supportés pour la moitié environ par le service de la navigation, etc.

viens d'avoir encore constaté, lors de mon premier voyage en Allemagne, les nombreux changements de trains et les fréquentes interruptions que comportait alors un grand trajet. Chaque État ayant son matériel spécial, un premier transbordement s'effectuait ordinairement à la frontière. Puis on arrivait dans la capitale à une gare terminus, et si l'on voulait continuer son voyage, il fallait recourir à l'usage de voitures de place pour traverser la ville et aller s'embarquer à un terminus opposé, ou tout au moins, et c'était le cas le plus favorable, faire à pied un certain parcours pour se rendre de la gare où l'on venait de débarquer à une gare plus ou moins voisine. Le voyage devenait, dans ces conditions, d'autant plus pénible que les billets directs n'existant pas encore, non plus que l'enregistrement direct des bagages, il fallait subir chaque fois tous les ennuis et les embarras d'une arrivée et d'un nouveau départ.

Tous ces inconvénients ont depuis bien longtemps disparu : avant même le rachat des réseaux, l'unification des lignes au point de vue de l'exploitation s'était déjà faite et, dans la plupart des villes, les gares terminus avaient été reliées entre elles soit par des soudures de rails lorsqu'elles étaient contiguës (comme à Leipzig, par exemple, ou pour les gares ouest de Francfort), soit par des lignes de jonction (*Verbindungsbahnen*) (comme à Francfort, entre les gares ouest et la gare est, ou à Dresde, entre les gares de la rive droite et de la rive gauche de l'Elbe).

Mais, malgré la satisfaction partielle que ces modifications donnaient aux besoins généraux du service et aux légitimes exigences des voyageurs, les gares anciennes, trop exiguës et en général mal conçues, n'en restaient pas moins défectueuses. Leurs aménagements, datant d'une époque où l'exploitation des chemins de fer en était encore à ses débuts, ne répondaient plus aux besoins actuels ; pour la plupart d'entre elles, d'ailleurs, les voies avaient été établies au ras du sol, nécessitant ainsi de nombreux passages à niveau qui, en raison du développement des villes aux abords des gares et de l'accroissement de la circulation sur les voies ferrées, causaient une double gêne au service des trains et au mouvement des piétons et des voitures.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES SOLUTIONS ADOPTÉES :

Gares centrales; Gares de passage; Gares terminus.

Un remaniement radical s'imposait donc à ce double point de vue. On l'a réalisé dans la plupart des cas par la création d'une *gare centrale* unique dans laquelle ont été concentrés tous les différents services précédemment éparpillés dans plusieurs gares distinctes. Cette solution présentait le double avantage d'offrir de grandes commodités au public et de simplifier considérablement les services eux-mêmes.

D'après la condition de suppression des passages à niveau des rues, les voies devaient être en général relevées ou abaissées aux abords de la nouvelle gare centrale. Presque partout c'est la première de ces deux solutions qui a prévalu : dans la plupart des gares que nous aurons à décrire, les voies et les quais se trouvent établis à quatre ou cinq mètres au-dessus du sol des rues avoisinantes.

A un autre point de vue, la gare centrale pouvait être conçue sur le plan d'une gare terminus nécessitant un rebroussement ou d'une gare de passage. En général, c'est la seconde solution qui a été adoptée. La gare tête de ligne avec rebroussement obligé pour les lignes de passage n'a été jugée acceptable que pour certaines gares de la capitale ou pour des points très importants où la multiplicité des directions convergentes semblait rendre de toutes manières les changements de trains indispensables. (Exemple : gare centrale de Francfort, et nouvelle gare centrale de Dresde pour certaines directions.)

Dans ce dernier cas, les voies ont pu être exceptionnellement établies au niveau du sol des rues lorsque la situation de la gare permettait de le faire sans imposer de passages à niveau gênants pour la circulation de la ville.

Plus généralement, c'est le système des gares de passage qui a été jugé préférable, mais quelquefois la gare qui est de passage pour les principales directions, se trouve tête de ligne pour les directions secondaires.

Utilisation des anciennes gares et de leurs lignes de jonction : création de services urbains.

Dans quelques cas les anciennes gares ont été abandonnées et

démolies. Quelquefois elles ont été transformées en gares de marchandises. D'autres fois, enfin, quand elles se trouvaient éloignées de la gare centrale nouvelle, elles ont été conservées à titre de gares secondaires. En principe alors tous les trains arrivent à la gare centrale ou la traversent, et quelques-uns d'entre eux passent par les gares secondaires et y font halte.

Enfin, ces gares secondaires et les lignes de jonction qui les reliaient primitivement à la gare principale devenue centrale, peuvent constituer dans certains cas les éléments d'un réseau urbain lorsque la situation de ces lignes de jonction par rapport à la ville et à ses extensions se prête à l'établissement d'un service local de transports. Les lignes appelées ainsi à devenir la base d'un réseau métropolitain futur doivent être, bien entendu, aménagées en conséquence (1).

C'est ainsi qu'à Berlin, en particulier, les anciennes lignes de jonction des gares ont constitué le chemin de fer de ceinture contournant la ville par ses faubourgs, tandis que la création de la Stadtbahn comportait l'établissement d'une série de grandes gares centrales échelonnées sur son parcours (Zoologischer Garten, Friederichstrasse, Alexanderplatz, Schlesischer Bahnhof). On peut dire en quelque sorte dans ce cas spécial que la Stadtbahn tout entière constitue au point de vue du trafic des grandes lignes une sorte d'immense gare centrale traversant la ville de l'ouest à l'est, tandis qu'au point de vue urbain elle forme l'axe d'un métropolitain dont la ceinture représente la ligne circulaire faubourienne.

Principes généraux adoptés pour l'aménagement des nouvelles gares.

Avant d'entrer dans la description détaillée des grandes gares nouvelles dont la première en date, celle de Magdebourg, a été inaugurée en 1876, et dont la dernière, celle de Dresde, est à peine commencée, il n'est pas sans intérêt de formuler certaines règles générales qui se dégagent de l'étude comparative des aménagements de ces différentes gares en dehors des dispositions spéciales que dans chaque cas les circonstances locales ont imposées.

Un premier principe généralement admis consiste dans la localisation absolue des différents services. Ainsi les gares impor-

(1) Nous verrons à la fin de cette étude, à propos des transformations des gares de Dresde, un exemple remarquable d'une solution de cette nature.

tantes présentent des parties essentielles absolument distinctes qui sont :

1° Service des voyageurs ;

2° Service des marchandises (service de triage ; service de chargement et de déchargement) ;

3° Service de la traction (dépôts ; remises de locomotives et wagons) ;

4° Ateliers de réparations, généralement isolés aussi complètement que possible du reste de la gare.

Je m'occuperai plus particulièrement dans ce travail des bâtiments et des aménagements affectés au service des voyageurs. Au point de vue spécial de ce service je noterai encore les principes suivants qui ont été observés autant que possible :

1° Exclusion de toute traversée de voies à niveau par les voyageurs à l'intérieur de la gare.

2° Réduction au minimum des trajets à effectuer par les voyageurs en supprimant tout détour inutile, toute montée ou descente qui n'est pas indispensable.

3° Création de quais spéciaux pour le service des bagages et des postes, de façon à désencombrer les quais de voyageurs.

Classement des gares nouvelles en quatre types généraux.

1° Gares de passage.

Premier type. — Étant donnée la position généralement surélevée des voies, la disposition adoptée à Hanovre et fréquemment reproduite depuis lors, consiste à établir en avant des voies le bâtiment des voyageurs avec salle des pas perdus, salle des bagages, salles d'attente, restaurant, etc., le tout au niveau de la cour d'accès qui est elle-même au niveau des rues avoisinantes. L'accès des quais surélevés a lieu au moyen de tunnels transversaux sur lesquels s'embranchent des escaliers perpendiculaires à la direction de ces tunnels et débouchant sur les quais d'embarquement et de débarquement auxquels ils sont parallèles. Dans certains cas des tunnels spéciaux sont réservés pour la sortie des voyageurs, et cette sortie s'effectue par un vestibule distinct de la salle d'entrée. En général, le service des bagages et des postes se fait par des tunnels particuliers qui débouchent sur les quais affectés exclusivement à ces services.

Les gares de Hanovre, de Brême, de Munster, de Gœttingue, se rapportent à ce premier type général qui convient plus particulièrement au cas ou le service de transit l'emporte comme importance sur le service local, et où par conséquent les salles d'attente sont relativement moins fréquentées.

En effet, l'inconvénient de cette disposition consiste dans la distance un peu grande qui sépare les quais d'embarquement et de débarquement des salles d'attente situées à l'étage inférieur. Pour éviter ce trajet aux voyageurs de transit qui n'ont qu'un court temps d'arrêt à passer dans la gare, on a même été conduit dans certains cas à établir sur les quais de petites salles d'attente auxiliaires avec des buvettes.

Second type. — C'est en développant et transformant cette dernière disposition adoptée pour pallier aux inconvénients mentionnés ci-dessus, qu'on s'est trouvé conduit à un second type réalisé à Hildesheim d'abord, reproduit ensuite à Dusseldorf, à Erfurt et à Cologne, et dans lequel le bâtiment des voyageurs se trouve dédoublé en quelque sorte, la salle des Pas-Perdus, les locaux affectés à la distribution des billets, à l'enregistrement et à la délivrance des bagages restant comme précédemment au niveau du sol des rues et dans un bâtiment élevé en avant des voies, tandis qu'un second bâtiment situé au niveau même des voies sur un quai central considérablement élargi comprend les salles d'attente, les buffets, etc., et se trouve relié au premier bâtiment au moyen de tunnels transversaux. Cette disposition est surtout avantageuse lorsque le mouvement des voyageurs peut se concentrer presque exclusivement sur un quai unique. Il en est ainsi en particulier lorsqu'en dehors de lignes de passage peu nombreuses, la station sert de tête de ligne pour un certain nombre d'embranchements secondaires dont les voies viennent aboutir au quai central. Ces voies pénètrent alors entre des quais longitudinaux qui prolongent le quai central entre chacune d'elles. Seulement cette disposition oblige à donner plus de développement en longueur aux quais et aux halles qui les recouvrent.

S'il y a plusieurs lignes de passage comportant un certain nombre de quais secondaires distincts, les voyageurs sont forcés, pour y accéder, ou bien de franchir à niveau les voies, ou bien de redescendre dans les tunnels pour remonter par d'autres esca-

liers, ce qui, de toute manière, constitue un inconvénient assez grave.

Troisième type. — Une dernière disposition pour gare de passage, celle réalisée à Halle et adoptée également pour la gare centrale de Dresde, consiste à établir la gare tout entière dans une sorte d'îlot, au milieu des voies. Dans ce cas, la gare et sa cour d'entrée doivent être accessibles au moyen d'une rue ou d'un boulevard passant sous un double pont qui porte les voies entre lesquelles est établi le bâtiment des voyageurs. Des tunnels transversaux avec escaliers servent toujours à accéder aux quais d'embarquement et de débarquement. Mais l'avantage de cette solution est de rassembler tous les locaux de la gare dans une situation plus centrale par rapport aux voies.

A Halle, comme à Dresde, les salles d'attente sont placées au niveau du sol, afin d'éviter aux voyageurs des montées et descentes inutiles pour atteindre les quais secondaires. Mais à Dresde, plus encore qu'à Halle, cette disposition se trouve justifiée, car la gare, à la fois de passage et tête de ligne, devra présenter deux étages de voies, et un certain nombre de lignes terminus viendront aboutir au quai transversal sur lequel s'ouvriront directement les salles d'attente.

2° Gares terminus.

Quatrième type. — Un quatrième type, enfin, comprend les gares terminus. Ces gares ne se rencontrent guère, comme je l'ai déjà fait observer, qu'à titre exceptionnel, mais elles se trouvent représentées cependant par deux spécimens très remarquables, la gare d'Anhalt à Berlin et la gare centrale de Francfort.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DES GARES

J'aborderai actuellement la description détaillée de quelques gares dont la situation dans le réseau général des chemins de fer allemands est indiquée sur la carte d'ensemble ci-jointe (*Pl. 99, fig. 1*). Mais, au lieu de classer ces gares dans l'ordre géographique où elles se présentent, je les grouperai d'après la classification ci-dessus indiquée et je commencerai par la gare de Hanovre.

PREMIER TYPE (Hanovre, Brême, Munster, Gœttingue).

1° **Hanovre.** — Depuis longtemps, les principales lignes pas-

sant par Hanovre avaient leur gare commune au centre de la ville (lignes de Wunstdorf, c'est-à-dire Cologne et Brême; de Lehrte, c'est-à-dire de Hambourg, Berlin, Brunswick, Hildesheim; enfin, ligne de Cassel et Francfort). Seule, la ligne secondaire d'Altenbecken aboutissait à une gare spéciale; mais la gare principale, très centrale par sa situation dans la ville, n'était pas assez largement aménagée en vue du développement du trafic, et la position des voies au niveau des rues avoisinantes constituait une situation des plus fâcheuses à laquelle il fallait, à tout prix, porter remède.

Les bases du remaniement général ainsi décidé furent :

1° Suppression aussi complète que possible des passages à niveau des rues.

2° Séparation absolue des services de voyageurs et de marchandises.

3° Suppression de croisements à niveau des voies entre elles.

En outre, la ligne secondaire d'Altenbecken devait être reliée à la nouvelle gare centrale.

La réalisation de ce programme a été obtenue (*Pl. 99*, *fig. 2*) par la surélévation générale des voies à 4 *m* au-dessus du sol dans toute la traversée de la ville. Seules, les gares de marchandises et de triage raccordées par des rampes douces avec les voies relevées ont été maintenues au niveau primitif, mais tout en évitant de couper des rues par leurs voies.

Les trains de voyageurs, auxquels ont été réservées des voies tout à fait distinctes, ne traversent plus, comme précédemment, la gare de triage, où pénètrent seuls les trains de marchandises, et les différentes directions se dégagent les unes des autres par des passages inférieurs ou supérieurs.

Ainsi se trouvent réalisées les conditions du programme qu'on s'était imposé.

L'ensemble des travaux, terminés en 1881, comprend :

1° Une gare nouvelle de voyageurs.

2° Une gare de marchandises.

3° Une gare spéciale de grosses marchandises et de produits bruts.

4° Des ateliers.

5° Un ensemble d'habitations (*Leinhausen*) pour divers employés et cent deux familles d'ouvriers.

6° Une usine à gaz.

7° Vingt-deux passages inférieurs pour rues et deux passerelles supérieures pour piétons au-dessus des voies des gares de marchandises et de triage.

8° Dix-huit cents mètres courants de murs de soutènement.

9° Plus de soixante-huit mille mètres de voies courantes, etc.

Sur la demande de la municipalité, le bâtiment des voyageurs a été maintenu dans la position centrale qu'il occupait dans la ville, mais toutes les autres installations ont été rejetées à une assez grande distance et se trouvent échelonnées le long des voies sur une longueur de près de 7 *km*.

La gare des voyageurs de Hanovre est restée le type des gares de passage surélevées avec bâtiment latéral. J'en indiquerai donc, avec quelques détails, les dispositions essentielles *(Pl. 100, fig. 2)*.

Tous les locaux affectés à l'usage du public sont au niveau même de la place sur laquelle est édifiée la gare. Au centre, faisant saillie, la salle des Pas-Perdus, avec 30,50 *m* de largeur sur 25,48 *m* de profondeur et 18,20 *m* de hauteur, accessible par sa façade et par ses côtés et éclairée par de grandes baies supérieures, présente en son milieu une sorte de kiosque où sont installés les guichets de distribution de billets. A droite et à gauche, s'ouvrent de spacieuses galeries longeant les locaux destinés à la distribution et à l'enregistrement des bagages, et, au delà, les salles d'attente de 1re et 2e classe à droite, de 3e et 4e classe à gauche.

Un tunnel central de 7 *m* de largeur s'ouvre dans l'axe même de la salle des Pas-Perdus. Deux tunnels secondaires de 4 *m* de largeur desservent les salles d'attente, les mettant directement en communication avec les quais et évitant aux voyageurs l'obligation de repasser par la salle des Pas-Perdus pour se rendre l'étage supérieur. En raison de l'existence de ces trois tunnels, l'établissement d'un tunnel spécial de sortie n'a pas été jugé nécessaire. La solution d'une sortie spéciale n'est pas, d'ailleurs, sans offrir quelques inconvénients. Elle oblige, en général, les voyageurs débarquant des trains à faire un assez long trajet sur les quais, pour atteindre l'escalier réservé à leur sortie, et produit ainsi sur ces quais des courants de circulation gênants pour les voyageurs au départ.

Actuellement, la gare de Hanovre est gare de passage pour les lignes de :

Berlin-Cologne,
Francfort-Brême.

Elle est gare de rebroussement pour celle de :

Francfort-Hambourg.

Elle est tête de ligne, enfin, pour les directions de :

Brunswick et Altenbecken.

Les voies de ces différentes lignes sont classées dans l'ordre suivant, à partir du bâtiment des voyageurs :

1° Deux voies de la ligne secondaire Hanovre-Altenbecken, espacées de 11,75 *m* d'axe en axe ;

2° Deux voies de la ligne de Hambourg à Cassel et Francfort, espacées de 13 *m* ;

3° Deux voies de marchandises, espacées de 7 *m* ;

4° Deux voies de la ligne Berlin-Cologne, espacées de 20,50 *m* ;

5° Une voie tête de ligne pour la direction de Brunswick.

Les quais affectés au service des bagages sont reliés au bureau d'enregistrement et de distribution au moyen de tunnels spéciaux et de monte-charges hydrauliques.

Pour obvier à l'inconvénient qui résulte de l'éloignement des salles d'attentè, buffets, water-closets, etc., on a construit, sur le quai de 20 *m* une salle à manger de 140 *m* de superficie spécialement destinée à la table d'hôte pour les voyageurs de Berlin-Cologne, et des water-closets ont été établis sur tous les quais.

Les quais sont recouverts par deux halles de 37,12 *m* de portée chacune et de 167,50 *m* de longueur. L'espace correspondant aux deux voies de marchandises reste en partie à ciel ouvert, afin de permettre une aération plus complète. Les deux halles longitudinales sont reliées dans leur partie centrale par une halle transversale de même hauteur et de 38,50 *m* de portée.

L'exécution des travaux avec maintien de la circulation pendant la période de transformation ne s'est pas faite sans d'assez grandes difficultés, et a nécessité la construction de gares et d'installation provisoires qui n'ont pas coûté moins de 745 000 marcs. Commencés en 1875, les travaux ont été achevés en 1881. De la dépense générale de 21 260 000 marcs, on doit défalquer 1 780 000 marcs provenant de reventes de terrains, subventions diverses, etc. La dépense réelle s'élève donc à 19 480 000 marcs, et la construction du bâtiment de voyageurs proprement dit entre pour 2 785 000 marcs dans ce total.

2° **Brême.** — Les gares de Brême, Munster, Gœttingue, se rattachent directement à celle que nous venons de décrire, avec

laquelle elles présentent d'étroites analogies. Ce sont des gares du premier type.

A **Brême**, la création de la nouvelle gare a permis de réunir les lignes de Brême à Hanovre et de Venlo à Hambourg, qui aboutissaient autrefois à des gares distinctes, en même temps que le relèvement général des voies transformait en passages inférieurs les anciens passages à niveau de nombreuses rues transversales. La gare reproduit à peu près complètement les dispositions de celle de Hanovre, mais dans des proportions plus petites, appropriées à l'importance restreinte du trafic *(Pl. 100, fig. 2)*. Seule, la salle des Pas-Perdus a reçu des dimensions assez grandes, 32 *m* de largeur sur 36,50 *m* de profondeur, ce qui a permis l'installation dans le fond même de cette salle du service des bagages.

Par suite, les salles d'attente ont pu être accolées immédiatement à la salle des Pas-Perdus, et la construction de tunnels spéciaux pour le service de ces salles n'a pas été nécessaire. L'accès des quais se fait au moyen de deux tunnels de voyageurs débouchant au fond de la salle des Pas-Perdus et entre lesquels sont établis deux tunnels de bagages de largeur égale. En dehors des salles d'attente ordinaires, la gare renferme encore une vaste salle d'attente pour les émigrants. L'ensemble des quais est recouvert par une halle de 59,30 *m* de portée.

3° **Munster**. — A **Munster**, gare de trafic relativement assez faible, au point de croisement des lignes de Venlo à Hambourg et de Westphalie, tout en conservant le type général de Hanovre, on y a introduit des simplifications plus grandes encore *(Pl. 100, fig. 3)*. Un seul tunnel, de 5,70 *m* d'ouverture, fait suite à la salle des Pas-Perdus, qui n'a que 14 *m* de largeur.

A droite, en entrant dans cette salle, on trouve les guichets, puis, après un passage conduisant à l'une des salles d'attente, les tables d'enregistrement et de distribution de bagages, et derrière le local affecté à ce service, un tunnel spécial avec monte-charges.

A gauche, une petite salle d'attente réservée pour les dames, et après un passage conduisant à la seconde salle d'attente, des cabinets de toilette et water-closets. Sur les quais se trouvent d'autres water-closets, et sur le quai du milieu, une petite salle d'attente auxiliaire. Enfin, le service de la poste, installé dans un bâtiment distinct, est relié aux quais par un tunnel spécial. Le

peu d'importance du trafic local a permis sans inconvénient de supprimer les quais spéciaux pour le service des bagages.

4° **Gœttingue.** — La gare de Gœttingue, achevée en 1888, se rattache toujours au même type *(Pl. 100, fig. 4)*. Elle résulte d'une simple transformation de l'ancienne gare, dont les bâtiments ont été conservés en partie. Les voies n'ayant pu être relevées que de 2 *m* environ et les salles d'attente ayant été maintenues comme avant la transformation au niveau des voies et débouchant directement sur le quai de la voie unique Bebra-Hanovre, la salle des Pas-Perdus, afin d'éviter au voyageur des montées et des descentes inutiles, a été établie au niveau de la cour d'accès, c'est-à-dire à 2 *m* environ en contre-bas du niveau des salles d'attente, et à 2 *m* au-dessus du tunnel unique et fort large qui conduit au quai central servant aux deux voies de la ligne Cassel-Hanovre, ainsi qu'à une voie terminus sur Bebra.

L'inconvénient de cette disposition consiste dans la nécessité de monter et de redescendre des escaliers pour atteindre le quai central depuis les salles d'attente. Afin d'atténuer cet inconvénient, un petit buffet auxiliaire et des water-closets ont été installés sur ce quai.

Dans cette gare, qui ne résulte en définitive que d'une transformation de la gare primitive, on a renoncé à l'établissement de tunnels spéciaux pour le transport souterrain des bagages, ce qui eût exigé un remaniement trop radical.

Les bagages, montés au niveau des quais par des rampes latérales, sont transportés par wagonnets en franchissant à niveau les voies.

SECOND TYPE

(Hildesheim-Dusseldorf-Erfurt-Cologne-Magdebourg).

1° **Hildesheim.** — La gare d'Hildesheim, est la première qui se rattache au second des types généraux que nous avons précédemment décrits. Cette gare *(Pl. 100, fig. 5 et 6)* comprend deux bâtiments distincts :

1° Un bâtiment latéral s'ouvrant de plain-pied sur la cour d'accès, avec salle des Pas-Perdus, distribution des billets et service des bagages ;

2° Un bâtiment central, établi dans une sorte d'îlot au milieu des voies sur un large quai, renfermant les salles d'attente et les buffets, installés au niveau même des voies, à 4 *m* au-dessus de la cour d'entrée de la gare.

Les deux bâtiments sont reliés par des tunnels.

L'inconvénient général de cette solution consiste en ce que les quais secondaires ne sont accessibles depuis les salles d'attente qu'en franchissant à niveau des voies ou en imposant aux voyageurs l'obligation de descendre ou de remonter des escaliers.

Les gares de Dusseldorf, Erfurt, Cologne, dérivent directement de celle d'Hildesheim, et se rattachent, par conséquent, au second type du classement général.

2° Dusseldorf. — A Dusseldorf, la gare est entièrement nouvelle. La gare primitive, qui était à rebroussement pour les principales lignes, a été remplacée par une gare de passage construite sur des terrains acquis, à cet effet, à 800 *m* environ du point d'établissement primitif *(Pl. 99, fig. 3 et 4)*. Ce déplacement, qui avait l'inconvénient d'éloigner un peu la gare du centre de la ville, a permis, par contre, de donner plus d'ampleur à ses proportions et aux voies d'accès qui y conduisent. Il a permis également une revente avantageuse des terrains occupés par l'ancienne gare (1). Un bâtiment latéral *(Pl. 100, fig. 7)* renfermant la salle des Pas-Perdus, avec guichets de billets à droite, salle des bagages à gauche, est relié par un large tunnel de 7 *m* d'ouverture avec le bâtiment central installé dans l'îlot formé par un quai spacieux établi au milieu des voies. Ce quai se trouve bordé par les voies de Berlin-Cologne et d'Elberfeld-Aix-la-Chapelle, espacées de 54,80 *m* d'axe en axe. A ses extrémités aboutissent en outre les voies terminus de lignes secondaires. Le bâtiment central a 33,80 *m* de large sur 70,30 *m* de long. Il renferme les salles d'attente, les salons de réception, des bureaux et un guichet auxiliaire pour éviter aux voyageurs de transit qui veulent continuer leur route l'obligation de descendre dans le tunnel et de se rendre dans la salle des Pas-Perdus pour y prendre un nouveau billet. Au centre de ce bâtiment est une cour centrale vitrée, ayant la forme d'un carré de 23,50 *m* de côté. Cette cour sert de vestibule aux salles d'attente : on y accède depuis le bâtiment latéral par un escalier qui se trouve placé à l'extrémité du tunnel.

Il existe en outre un tunnel spécial pour le service des bagages, et un tunnel pour le service de la poste, dont les bureaux sont installés à droite du bâtiment latéral.

Ces deux tunnels communiquent avec le quai central au moyen de monte-charges hydrauliques.

(1) Cette revente a produit une somme de 6 millions de marcs à défalquer du total général des dépenses.

Enfin, un tunnel de sortie, de même largeur que le tunnel d'entrée, conduit à un vestibule spécial de sortie.

Le quai central ayant une grande largeur, les inconvénients signalés plus haut pour les sorties spéciales ne sont pas à redouter dans ce cas.

Les tunnels de la poste et des bagages sont reliés sous le bâtiment central par un tunnel longitudinal auquel aboutit également un tunnel de service venant de l'autre côté des voies. Ce tunnel longitudinal facilite la manutention des bagages, et permet d'éviter le transport de ceux-ci par wagonnets d'une extrémité du quai central à l'autre.

La traversée des rails par les voyageurs n'est pas complètement évitée. Elle reste nécessaire pour atteindre les voies qui ne sont pas en contact immédiat avec le quai central.

3° **Erfurt.** — ERFURT est gare de passage pour la ligne de Halle-Eisenach, tête de ligne pour celles de Nordhausen et Sängerhausen.

C'est dans l'îlot compris entre les deux voies de la ligne de passage qu'est établi le bâtiment central *(Pl. 100, fig. 8)*. Les dispositions générales sont analogues aux précédentes. Dans le bâtiment latéral, la salle des Pas-Perdus avec les guichets à droite, les bagages, à l'arrivée et au départ, à gauche. Un tunnel de 6 *m* de largeur s'ouvrant dans l'axe de cette salle conduit à un spacieux vestibule ménagé au milieu du bâtiment central ; un escalier à double rampe, établi dans le centre de ce vestibule, sert d'accès aux deux salles d'attente qui s'ouvrent à droite et à gauche. En face de l'escalier et au niveau supérieur est installé un guichet de billets auxiliaire, pour l'usage des voyageurs de transit. Le bâtiment central a 96,50 *m* de long sur 21,30 *m* de large. A droite, au delà des salles d'attente de 1re et 2e classe, sont les salons de réception. A gauche, au delà des salles d'attente de 3e et 4e classe, il y a des locaux de service. Trois tunnels spéciaux respectivement réservés au transport des bagages, de la poste et des messageries (grande vitesse) aboutissent à des ascenseurs établis sur le quai central. Enfin, un tunnel spécial de sortie de 3,75 *m* de largeur, débouchant à l'est du bâtiment central, est destiné à faciliter la sortie pour les voyageurs des lignes de Nordhausen et Sängerhausen dont les voies terminus aboutissent à cette extrémité du quai. On n'a pas réservé de quais spéciaux pour le service des bagages.

4° **Cologne.** — La nouvelle gare de COLOGNE occupe à peu près le même emplacement que la gare ancienne, au centre même de la ville et à côté de la cathédrale *(Pl. 99, fig. 5)*. Elle est reliée directement par le pont du Rhin avec la gare de Deutz et les lignes de la rive droite, et par un circuit qui contourne la ville avec la ligne de Bonn et Coblence qui suit la rive gauche du Rhin et qui avait primitivement un terminus spécial. Sur cette ligne de jonction, qui peut être appelée plus tard à rendre des services importants au point de vue du trafic local, on a déjà établi deux stations secondaires (Sudbahnhof et Westbahnhof), cette dernière près du jardin public.

La nouvelle gare surélevée au-dessus du sol des rues voisines appartient au second type *(Pl. 100, fig. 9 et 10)*. Un bâtiment latéral, de plain-pied avec la place d'accès, renferme les guichets de billets et le service des bagages. Ce service s'effectue dans un local unique servant à la fois à l'enregistrement et à la distribution et qui est situé entre le vestibule d'entrée et celui de sortie. Les guichets de billets sont installés latéralement, de façon à ne pas masquer l'entrée du tunnel qui conduit au vaste quai central sur lequel est établi le bâtiment renfermant les salles d'attente et les buffets. L'arrivée du tunnel d'accès se trouve à l'entrée sud de ce bâtiment, tandis qu'à l'autre extrémité s'ouvre le tunnel de sortie qui, après avoir longé les tables de distribution de bagages, débouche sur la place en face même de stations de voitures. Le quai central, auquel on a donné 55 *m* de largeur, sert en même temps de quai de tête pour quatre voies du côté nord, et pour trois voies du côté sud.

Le mode de couverture a été longuement discuté. On avait à recouvrir une surface de quais et de voies de 255 *m* de longueur sur 92 *m* de large. On ne pouvait songer à le faire au moyen d'une halle unique, et d'autre part, il semblait désirable, pour la commodité de l'exploitation et de la circulation, de donner 65 *m* de portée à la halle, recouvrant le quai central et le bâtiment des salles d'attente, de manière à rejeter en dehors du quai central les points d'appui de cette halle. Mais l'adoption d'un arc semi-circulaire aurait conduit à une hauteur de 33 *m* environ qui, en raison de la proximité de la cathédrale, aurait pu être préjudiciable à l'aspect général de la ville. A la suite de nombreuses études comparatives, on reconnut que la hauteur de 24 *m* ne devait pas être dépassée, et c'est sur cette base que le projet de la nouvelle gare fut mis au concours. La halle centrale, qui a 63,90 *m*

de portée, est complétée par deux petites halles latérales de 13,37 *m* chacune, recouvrant deux quais de voyageurs indépendants du quai central. Actuellement (mars 1894) la nouvelle gare de Cologne est terminée dans ses parties essentielles; à l'exception du bâtiment latéral dont le gros œuvre est achevé, mais dont les aménagements intérieurs restent encore à faire. Le service se fait provisoirement par la rue latérale opposée (Maximien Strasse) : des guichets et des bureaux de bagages provisoires sont installés au débouché des tunnels sur cette rue.

5° **Magdebourg.** — Je ne dirai que peu de mots de la gare de Magdebourg, qui est de construction déjà assez ancienne. Commencée en 1871, elle a été ouverte au service en 1876.

Magdebourg, place de guerre, autrefois très resserrée entre ses fortifications et l'Elbe, était primitivement desservie par plusieurs gares distinctes *(Pl. 99, fig. 7)* :

Celle de Furstenwall, tête de ligne pour Berlin, Leipzig et Halberstadt;

Celle du Quai-des-Pêcheurs (Fischerufer), tête de ligne pour la ligne de Stendal, à laquelle avait été rattachée celle d'Helmstedt (Brunswick) et de Zerbst (Breslau).

Enfin, des gares secondaires existaient encore à Buckau, à Alt-Neustadt et à Friederichstadt sur la rive droite de l'Elbe.

Toutes ces lignes convergent actuellement vers la gare centrale *(Pl. 99, fig. 8)*, dont la construction a été associée au déplacement des anciennes fortifications et à la création de nouveaux quartiers à l'est de la ville. C'est sur un terrain militaire rendu disponible que la gare nouvelle et ses principales dépendances ont été établies. Les anciennes gares de Furstenwall, de Fischerufer, Alt-Neustadt (rive gauche de l'Elbe), Friederichstadt (rive droite), ont été conservées pour le service des marchandises. La gare de Buckau, considérablement agrandie, est devenue gare centrale de triage.

Primitivement édifiés par les Compagnies Berlin-Potsdam-Magdebourg, Magdebourg-Leipzig et Magdebourg-Halberstadt (ces deux dernières fusionnées en 1875), les bâtiments de voyageurs formèrent d'abord deux gares distinctes, l'une latérale (Magdebourg-Halberstadt et Magdebourg-Leipzig), l'autre dans un îlot compris entre les deux groupes de voies et affectée au service de la Compagnie Berlin-Potsdam-Magdebourg. Depuis le rachat des Compagnies par l'État, ce bâtiment central sert de bâtiment commun

pour les salles d'attente établies au niveau des voies, tandis que le bâtiment latéral relié au bâtiment central par un large tunnel ne renferme plus que la salle des Pas-Perdus, les guichets et les tables de bagages. Les étages supérieurs de ce bâtiment sont occupés par des bureaux d'administration. Par cette transformation, la gare de Magdebourg est devenue très semblable aux gares du second type et je me dispenserai d'entrer dans de plus grands détails sur sa description.

TROISIÈME TYPE (Halle).

1° Halle. — L'histoire de la gare de Halle est fort intéressante. La ville de Halle par elle-même, bien qu'ayant une population d'environ cent mille âmes, n'aurait pas motivé par son importance la construction d'une gare aussi considérable que celle dont elle est dotée aujourd'hui. Mais depuis longtemps elle s'est trouvée le point de croisement de lignes nombreuses, dont la première en date, celle de Magdebourg à Leipzig, remonte presque à l'origine des chemins de fer (1839). Puis furent successivement ouvertes les lignes de Thuringe (vers Francfort), d'Anhalt (vers Berlin), de Cassel (vers Cologne), et enfin, en dernier lieu, celle de Sorau (vers Breslau), et celle de Cœnnern et Aschersleben (vers Brunswick et Hanovre). Cinq Compagnies exploitaient au début ces différentes lignes, et, au fur et à mesure des besoins, avaient développé leurs installations sans aucun plan d'ensemble.

A la gare de passage très rudimentaire installée dès l'origine par la ligne de Magdebourg-Leipzig *(Pl. 99, fig. 6)*, était venue s'accoler, en 1845, la gare terminus de la ligne de Thuringe, puis, de 1855 à 1857, à la suite d'une intervention de l'Administration supérieure, un bâtiment commun établi entre les deux lignes avait réuni les deux services de voyageurs. Peu de temps après, la Compagnie d'Anhalt (ligne de Berlin), désireuse à son tour de prolonger ses voies jusqu'à Halle, et s'étant heurtée à l'hostilité de la Compagnie Magdebourg-Leipzig, qui redoutait de sa part une concurrence, fut amenée à s'entendre avec la Compagnie de Thuringe, qui, après lui avoir imposé d'assez dures conditions, l'avait admise dans sa gare. Mais cette soudure n'avait pu se faire qu'en transformant la gare terminus de Thuringe en gare de passage, et coupant ainsi par un passage à niveau la rue d'accès de la gare commune. Situation très fâcheuse, à laquelle on avait insuffisamment remédié par l'établissement d'une passerelle de piétons et d'une déviation avec pont supérieur imposant un très long détour aux voitures. Cet état de

choses s'était encore aggravé lorsque l'Administration, exigeant la création d'un service de transit direct de Berlin sur Cassel, le nombre des voies traversées par le passage à niveau dut être porté à trois.

A cette même époque, c'est-à-dire vers 1861, les trois Compagnies alors existantes avaient établi trois gares de marchandises distinctes et assez éloignées les unes des autres, ce qui constituait une gêne considérable tant pour le commerce local que pour le service.

Un remaniement général semblait déjà s'imposer, et la perspective de l'ouverture prochaine de la ligne de Cassel (terminée en 1865) devait rendre ce remaniement encore plus indispensable. Mais la ville de Halle, tout en réclamant la réunion des gares de marchandises, s'opposait à la suppression des passages à niveau et à tout déplacement de la Delitzscherstrasse (rue d'acccès de la gare), tandis que de leur côté les Compagnies, jalouses de leur indépendance et cherchant à rester autant que possible maîtresses chez elles, ne parvenaient à se mettre d'accord ni sur le plan d'ensemble à adopter, ni sur la part que chacune d'elles aurait à supporter dans la dépense.

C'est alors qu'en prévision de l'ouverture de deux autres lignes nouvelles (Halle-Cœnnern-Brunswick-Hanovre, Halle-Sorau-Breslau), un plan de remaniement général fut élaboré par le service du contrôle. Mais, après une réalisation très partielle se réduisant à l'édification d'un nouveau bâtiment de voyageurs (1866-1868), on dut renoncer à tomber d'accord pour une exécution plus complète de ce projet. Les deux nouvelles lignes, Halle-Cœnnern et Halle-Sorau, furent admises dans la gare de Halle dans les plus déplorables conditions.

La première Compagnie, après s'être brouillée avec celle d'Anhalt, dut ouvrir son exploitation (1872) en débarquant ses voyageurs dans un baraquement provisoire établi dans la gare des marchandises, et ce n'est qu'en novembre de la même année qu'une soudure avec les voies de Magdebourg-Leipzig permit à ses trains d'entrer dans la gare des voyageurs. Mais cette soudure nécessitait un croisement à niveau des voies d'Anhalt, et malgré l'intervention du contrôle imposant la suppression de ce croisement des plus dangereux et son remplacement par un circuit permettant d'établir un passage supérieur, à grande distance de la gare, grâce aux tiraillements entre Compagnies, ce n'est qu'en 1876 que cette transformation put être réalisée.

La pénétration de la ligne de Sorau se fit dans des conditions à peu près aussi peu satisfaisantes. Ses rails se soudèrent à ceux de la ligne Magdebourg-Leipzig, à l'entrée même de la gare, où cette nouvelle ligne ne put obtenir de voies d'embarquement et de débarquement distinctes qu'en 1880.

Sur ces entrefaites, un nouveau projet de remaniement d'ensemble, approuvé par l'Administration, accepté en principe par les Compagnies, et soumis aux enquêtes, semblait avoir de si grandes chances d'aboutir que les terrains nécessaires à son exécution avaient déjà été acquis, lorsque tout échoua de nouveau à propos de la répartition des dépenses.

En 1875, la Compagnie de Magdebourg-Leipzig se fusionne avec celle de Magdebourg-Halberstadt ; la ligne de Cassel est rachetée par l'État et l'on entre dans une période nouvelle pendant laquelle de nombreux projets sont encore présentés. En attendant, en raison des difficultés croissantes du service et de l'augmentation incessante du trafic, les Compagnies d'Anhalt et de Thuringe, profitant de la situation favorable qu'elles occupent, du côté de la ville centrale, continuent à développer leurs installations et exécutent plusieurs embranchements industriels les rattachant à des usines privées, créant ainsi des droits acquis et de nouveaux obstacles avec lesquels il faudra compter dans l'avenir, tandis que, d'autre part, les lignes de Magdebourg-Leipzig et Magdebourg-Halberstadt fusionnées établissent à l'est une gare de triage et une remise de locomotives.

Cette situation semble devoir s'éterniser lorsque le rachat par l'État de la Compagnie Magdebourg-Halberstadt (1879) fait entrer enfin la question dans une phase décisive. Dès le commencement de 1880, un projet d'ensemble nouveau est formulé par l'Administration des chemins de fer de l'État, de concert avec les Compagnies encore subsistantes de Berlin-Anhalt et de Thuringe. Une dernière résistance se manifeste de la part de ces Compagnies, qui entendent maintenir la situation respective de leurs voies, et se refusent à toute participation dans la dépense. La situation traîne jusqu'en 1882, époque où le rachat par l'État des Compagnies de Thuringe et d'Anhalt met fin à cette période d'avortements et d'incertitude. La fusion générale de toutes les lignes entre les mains de l'État permet alors d'aboutir, et après de nombreuses et minutieuses études comparatives, le projet définitif est adopté et les travaux commencent.

C'est de cet enfantement laborieux qu'est née la gare de Halle actuelle.

L'ensemble des travaux exécutés comprend :

1° La création d'un bâtiment de voyageurs central (type n° 3), avec cour d'accès sur la Delitszscherstrasse ;

2° La transformation du passage à niveau de cette dernière rue dans un passage inférieur formé par deux ponts de 20 et 25 *m* d'ouverture portant les deux groupes de voies qui comprennent le bâtiment de la gare et qui sont au nombre de treize en totalité ;

3° L'établissement, en face de la cour des voyageurs, d'une rampe d'accès, débouchant sur la Delitzscherstrasse, et conduisant au bâtiment de la grande vitesse, enclavé comme celui des voyageurs entre les deux groupes de voies ci-dessus indiqués et servant, en outre, de point de départ à de nombreuses voies de garage ;

4° Le déplacement général de toutes les grandes lignes, de manière à les grouper de part et d'autre du bâtiment central de la façon suivante :

Du côté ouest :

Berlin-Thuringe,
Sorau-Cassel.

Du côté est :

Magdebourg-Leipzig,
Halberstadt-Leipzig.

5° La création d'une grande gare de triage et d'une gare unique de marchandises au nord-est de la gare des voyageurs ;

6° Un remaniement complet de toutes les voies d'accès permettant à toutes les lignes de se dégager les unes des autres au sortir de la gare pour prendre leurs directions respectives au moyen de passages inférieurs et supérieurs et sans aucun croisement à niveau ;

7° Le rattachement des diverses lignes aux gares de triage et de marchandises par des embranchements spéciaux se détachant des grandes lignes en des points suffisamment éloignés de la gare.

Des voies de rattachement ont été également créées pour les nouveaux abattoirs de la ville établis à côté de la gare des marchandises et pour relier à cette gare par des circuits les différents établissements industriels primitivement jonctionnés avec les lignes d'Anhalt et de Thuringe.

Enfin, ce plan d'ensemble a été associé au développement de la

ville dans les régions voisines où des quartiers nouveaux se trouvent préparés par le tracé de nombreuses rues.

Il est à peine besoin de faire remarquer à quelles difficultés on a dû se heurter pour réaliser une transformation aussi complète au milieu d'une exploitation active dont il était essentiel de ne pas entraver le fonctionnement. On a dû s'astreindre à suivre un plan d'exécution très complexe, les surfaces nécessaires pour entamer chaque nouvelle portion de travail ne pouvant devenir disponibles que par un déplacement provisoire ou définitif des installations primitives, et c'est au milieu de précautions sans nombre et grâce à une surveillance de tous les instants que les travaux, qui ont duré cinq années et demie, ont pu s'achever sans entraîner aucun accident sérieux.

Sous peine de sortir des limites de ce travail, je ne puis entrer ici dans la description détaillée et pourtant fort intéressante de toutes les parties de la nouvelle gare de Halle. Je me bornerai, pour rester fidèle à mon programme, à indiquer rapidement et dans ses parties essentielles l'aménagement du bâtiment des voyageurs *(Pl. 100, fig. 11)*.

Le niveau du bâtiment est, comme on l'a déjà vu, celui de la cour de la gare, qui est aussi celui de la rue d'accès. Il eût été possible, au moyen d'une rampe longitudinale, de relever le sol de cette cour de manière à la mettre de plain-pied avec les voies. Mais une solution de ce genre aurait eu l'inconvénient d'obliger les voyageurs soit à traverser les voies à niveau, soit à descendre et à remonter des escaliers pour atteindre par des tunnels les quais secondaires. Double inconvénient, tant pour les voyageurs de transit que pour ceux du trafic local, qui est assez considérable. La salle des Pas-Perdus, qui a la forme d'un carré de 33 *m* de côté, se trouve donc établie à 3,50 *m* au-dessous des voies. Elle renferme les guichets de billets qui, comme à Hanovre, sont installés dans un petit kiosque central. Le service des bagages se trouve à droite et à gauche dans deux locaux qui correspondent chacun à des directions de lignes distinctes et se trouvent mis en rapport par des monte-charges hydrauliques avec les quais de bagages correspondants. Puis, à droite et à gauche également, s'ouvrent les tunnels des voyageurs qui servent à la fois à l'entrée et à la sortie et auxquels on a donné en conséquence une largeur de 8 *m*. Au fond, et à côté même de l'embouchure des tunnels, sont les deux salles d'attente juxtaposées de 1re et 2e classe, 3e et 4e classe. Enfin, derrière les salles d'attente se trouvent, au rez-de-chaussée,

différents locaux : buffets, cuisine, lavabos, water-closets, salon réservé aux dames, donnant sur une cour vitrée qui sépare les parties du bâtiment accessibles au public de celles réservées au service. Au premier étage sont les salons de réception communiquant directement avec les quais. Ces quais, au nombre de quatre pour le service des voyageurs, sont symétriquement placés par rapport au bâtiment central. Les deux quais les plus voisins de ce bâtiment sont affectés aux lignes de Berlin-Thuringe et Magdebourg-Leipzig, qui donnent le plus grand trafic. Leur largeur est de 10 *m* (13 *m* d'axe en axe des voies). Les deux autres quais, réservés pour les lignes moins importantes de Sorau-Cassel et Halberstadt-Leipzig, n'ont que 8,50 *m* de largeur (11,50 *m* entre les axes des voies). Entre chacun de ces groupes de quais de voyageurs est établi un quai de bagages. Les quais et les voies sont recouverts, de part et d'autre du bâtiment central, par deux halles métalliques de 20 et 18 *m* de portée, dont les points d'appui sont établis en dehors des quais de voyageurs.

Un tunnel de service et un tunnel spécial mettent respectivement la partie postérieure de la gare en communication avec la ville et avec le bâtiment de la poste, construit latéralement aux voies. Enfin, il existe encore en tête du bâtiment et au niveau des voies un passage à niveau qui facilite la manutention des bagages.

Les travaux, commencés au début de 1885, ont été achevés en 1890, au moins dans leurs parties essentielles. Ils ont coûté en nombre rond 11 millions de marcs, se répartissant de la manière suivante :

Acquisition de terrains		940 000	marcs
Terrassements		770 000	—
Bâtiment de voyageurs (y compris quais et halles)	2 000 000	4 647 000	—
Remises de machines	700 000		
Autres constructions	1 947 000		
Traversées de rues		1 205 000	—
Voies et signaux		2 440 000	—
Frais d'administration et divers		975 000	—
TOTAL		10 977 000	marcs

QUATRIÈME TYPE (Berlin-Anhalt, Francfort).

1° **Berlin : gare d'Anhalt.** — J'aborde actuellement l'étude des gares rentrant dans le *type terminus* applicable, comme je l'ai

fait remarquer, soit aux grandes capitales considérées comme point d'arrêt pour la majorité des voyageurs, soit aux gares de passage, où les transbordements semblent indispensables par suite de la grande multiplicité des lignes. Berlin présente deux gares terminus remarquables : celle d'Anhalt et celle de Potsdam. Mais je ne parlerai pas ici de cette dernière, qui est surtout intéressante par la création toute nouvelle de deux gares secondaires affectées l'une au service métropolitain, l'autre à un service important de petite banlieue (*Wannsee-Bahn*). L'étude de cette gare se rattache donc plutôt à celle de la Stadtbahn dont j'ai eu fréquemment l'occasion de vous parler et sur laquelle j'aurai peut-être l'occasion de revenir encore.

La gare d'Anhalt, au contraire, est une gare plus particulièrement de grandes lignes ; elle représente un type très complet de gare terminus surélevée. Elle a été reconstruite de 1872 à 1880. C'était la tête de ligne d'une Compagnie créée en 1841 et rachetée depuis par l'État (1882). Le réseau comportait, en 1874, 450 *km* et transportait 2 650 000 voyageurs, dont 1 099 000 étaient expédiés par la gare de Berlin seule. Le tonnage des marchandises s'élevait, à la même époque, à 2 081 000 *t* pour le réseau dont 773 000 *t* pour la gare de Berlin. Enfin, les recettes comportaient :

Pour les voyageurs	5 800 000 marcs.
Pour les marchandises	11 500 000
Soit au total.	17 300 000 marcs.

De 1866 à 1874 le trafic des voyageurs avait presque doublé et celui des marchandises avait presque triplé. Il était donc indispensable de transformer la gare ancienne devenue insuffisante pour ces développements de trafic.

La nouvelle gare a été construite sur l'emplacement de la gare primitive. Une gare provisoire édifiée en 1872 et livrée à l'exploitation en 1874, a servi pendant la durée des travaux.

La gare d'Anhalt transformée (*Pl. 100, fig. 12 et 13*) comporte un avant-corps avec perron surélevé de quelques marches au-dessus de la place d'accès (Ascanisher-Platz). C'est sur cette place que s'ouvre le vestibule principal, rectangle de 26 *m* de large sur 14 *m* de profondeur. A gauche, les guichets de billets et derrière ces guichets les bureaux de l'exploitation. A droite l'enregistrement des bagages, avec monte-charges aboutissant au quai supérieur. Au centre du vestibule, un escalier monumental conduit au pre-

Les principes d'après lesquels la gare de Francfort a été établie consistent dans la séparation absolue des services.

L'opération comportait la création de :

Une gare centrale de voyageurs,
Deux gares de marchandises,
Deux gares de triage,
Et deux ateliers.

La gare des voyageurs est commune au chemin de fer de l'État prussien, à la ligne de Mein-Neckar, à la ligne Hessische-Ludwigs-Bahn.

On avait d'abord songé à réunir, en les juxtaposant pour ainsi dire, dans un grand bâtiment commun, plusieurs gares distinctes, avec leurs salles des Pas-Perdus, et salles d'attente spéciales, situées en face des quais correspondants. On y a renoncé pour les motifs suivants.

L'unification de la gare devait mieux concentrer son exploitation et rendre son usage par le public plus facile. En outre, plusieurs lignes différentes pouvant conduire à la même destination, il aurait pu en résulter des confusions fâcheuses pour les voyageurs incertains de la partie de la gare où devait s'effectuer leur départ. Enfin six salles d'attente au moins auraient été nécessaires, ce qui aurait conduit à développer démesurément la façade, pour ne pas trop réduire l'espace réservé depuis chaque salle des Pas-Perdus à l'accès direct des quais. De plus, ces salles d'attente, forcément plus petites, n'auraient pu rendre les mêmes services que les vastes salles actuelles, aux moments de grande affluence sur une ligne déterminée.

La disposition adoptée *(Pl. 100, fig. 14)* consiste dans l'établissement d'un très large quai de tête transversal (18 *m* de largeur sur 220 *m* de longueur) sur lequel viennent aboutir dix-neuf quais longitudinaux séparant entre elles les voies et alternativement destinés au service des voyageurs et à celui des bagages. La largeur de ces quais est de 10, 8 et 4 *m*. Les neuf quais de voyageurs desservent chacun deux voies distinctes, soit au total dix-huit voies se répartissant du sud au nord dans l'ordre suivant :

1° Francfort-Niederlahnstein-Coblentz (embranchement de Wiesbaden) . . . . 3 voies.
2° Francfort-Bebra . . . . 2 —

3° Francfort-Darmstadt-Heidelberg (Mein-Neckar-Bahn)	3 voies.
4° Francfort-Cassel (Mein-Weser-Bahn)	4 —
5° Francfort-Mayence, Francfort-Mannheim, Francfort-Limbourg (Hessische-Ludwigs-Bahn)	6 —
Total	18 voies.

Entre deux quais de voyageurs consécutifs s'intércale un quai spécial de bagages, à l'extrémité duquel est immédiatement installé un bureau avec table pour la délivrance des bagages à l'arrivée. Le quai de tête débouche directement au dehors à ses extrémités par des perrons couverts de marquises, en face de places de voitures et de stations de tramways.

Devant le quai de tête et dépassant les halles de 20 *m* environ de part et d'autre se développe le bâtiment principal des voyageurs renfermant la salle des Pas-Perdus (30 *m* de largeur, 55 *m* de profondeur, 25 *m* de hauteur), installée dans un pavillon central en puissante saillie sur la façade. Cette saillie, qui a permis d'avoir des entrées latérales pour piétons, — les portes en façade servant plus spécialement à l'accès des voitures — était nécessaire pour donner à la salle des Pas-Perdus la profondeur indispensable permettant d'y installer commodément, à droite et à gauche, les nombreux guichets de billets, et au fond les tables pour l'enregistrement des bagages (on a vu que la distribution des bagages à l'arrivée se faisait directement sur le quai de tête). Au fond, sont les bureaux de télégraphe, et, dans l'axe même de la salle, une large baie accédant directement sur le quai. De part et d'autre de cette salle des Pas-Perdus, de spacieuses galeries latérales de 7 *m* de largeur, prenant leur origine entre les guichets et les tables de bagages donnent accès à quatre salles d'attente symétriquement placées par rapport à l'axe du bâtiment. Ces galeries s'ouvrent directement sur l'extérieur, permettant ainsi aux voyageurs déjà munis de billets d'accéder dans les salles d'attente sans passer par la salle des Pas-Perdus. En dehors de ces salles, qui ont chacune leur sortie sur le quai de tête, il existe encore deux salons spéciaux réservés aux dames et deux restaurants.

Enfin, dans les pavillons d'angle, on trouve des salons de toilette et des water-closets et, aux extrémités, des salons de réception et une salle pour le Conseil d'administration du réseau. Deux bâtiments importants construits latéralement aux voies achèvent cet

ensemble et renferment tous les services administratifs de la gare. Le transport des bagages au départ se fait au moyen de wagonnets depuis les tables d'enregistrement jusqu'aux quais de bagages. On avait songé un moment à l'établissement de tunnels, mais on a craint d'imposer, par l'obligation de la descente et de la montée, un fâcheux ralentissement à ce service. D'ailleurs, le quai de tête a reçu des dimensions assez grandes pour que sa traversée par les wagonnets offre peu d'inconvénients.

Bien que d'après la disposition de la gare toute traversée de voie soit rendue inutile, afin d'éviter cependant un détour aux voyageurs de transit qui, débarqués à une certaine distance du quai de tête, devraient passer sur un autre quai longitudinal, on a établi, à l'extrémité de la gare, un tunnel transversal qui sert aussi et surtout au personnel. Enfin, il existe deux autres tunnels transversaux immédiatement après celui que nous venons de mentionner. Ces derniers tunnels sont respectivement affectés au service des bagages en transit et de la poste.

En somme, la gare de Francfort se dédouble en quelque sorte en deux gares bien distinctes, symétriques par rapport au vestibule central, et affectées chacune à un groupe de lignes différent. Chacune de ces gares est desservie par un personnel spécial, et le voyageur qui doit faire usage d'une ligne déterminée, trouve rassemblés d'un même côté du vestibule central tous les locaux dont il doit faire usage, et tous les services auxquels il a affaire. Il débouche directement par les salles d'attente sur la partie du quai de tête où aboutit le quai de départ de la ligne qu'il doit suivre, et ce quai lui est désigné par des inscriptions très lisibles et qui ne peuvent lui laisser aucune incertitude. Les grandes divisions formées par les trois halles contribuent elles-mêmes à permettre au voyageur de se retrouver au milieu de ces quais de départ et d'arrivée si nombreux. Enfin, les quais longitudinaux, à leur entrée sur le quai de tête, sont fermés par des chaînes mobiles, qu'on ouvre seulement au moment de l'arrivée ou du départ des trains.

Afin de désencombrer les quais de voyageurs, on a eu soin de placer les points d'appui des halles sur les quais de bagages. Ces points d'appui sont régulièrement espacés de 9,30 *m;* cet espacement est porté à 18,80 *m* pour franchir le quai de tête. La naissance des arcs est établie à 1 *m* au-dessus du sol, mais cette hauteur est portée à 11 *m* pour les points d'appui de la charpente métallique contre le bâtiment central.

La couverture est en tôle ondulée, les quatre septièmes environ de sa surface sont en vitrages, les têtes des halles sont vitrées. La construction métallique a nécessité l'emploi de 3 700 *t* de fer forgé, et a coûté en nombre rond 1 600 000 marcs, soit 51 marcs par mètre carré couvert.

La dépense totale, sans tenir compte de la revente des terrains, s'est élevée à 36 millions de marcs.

Cette gare, remarquable à tous les points de vue, est l'œuvre de l'architecte Eggert.

REMANIEMENT GÉNÉRAL DES GARES DE DRESDE

État primitif et bases générales du remaniement en cours d'exécution.

Pour terminer cette rapide revue, il me reste à signaler l'ensemble de travaux très intéressants actuellement en cours d'exécution à Dresde.

Par sa situation géographique, Dresde constitue, dans le réseau général des chemins de fer allemands, un point de jonction d'assez grande importance au croisement de plusieurs courants de transit est-ouest et nord-sud.

La ville était primitivement desservie par cinq gares de voyageurs distinctes *(Pl. 102, fig. 2)* :

1° Sur la rive droite de l'Elbe, du côté de la nouvelle ville (Neustadt) :

La gare de Leipzig { Ligne de Leipzig (direction de l'Ouest). Ligne de Berlin (direction du Nord-Ouest).

La gare de Silésie { Ligne de Gœrlitz et de Breslau (direction du Nord-Est et de l'Est) ;

2° Sur la rive gauche, du côté de l'ancienne ville (Altstadt) :

La gare de Bohême (Prague, Vienne, Pesth, direction du Sud-Est) ;

La gare de Tharandt (Chemnitz, Nuremberg, Munich, direction du Sud-Ouest) ;

La gare de Berlin (Friederichstadt), créée par une Compagnie spéciale pour une ligne directe de Dresde sur Berlin ;

3° Enfin, trois gares de marchandises (Friederichstadt, Altstadt et Neustadt, et deux petites gares fluviales le long de l'Elbe) complétaient l'ensemble de ces premières installations.

Depuis longtemps déjà la gare de Tharandt avait été supprimée ou plutôt transformée en gare à charbon, tandis que les voies de voyageurs de cette ligne étaient ramenées à la gare de Bohême. D'autre part, les gares juxtaposées de la rive droite avaient été reliées également à la gare de Bohême par une ligne de jonction en viaduc et remblai traversant l'Elbe sur un pont (Marienbrücke) qui sert, comme notre Pont National, à la fois au passage des trains et à celui des piétons et voitures. Cette ligne de jonction, destinée d'abord exclusivement aux trains de marchandises et au service, a été plus tard utilisée pour les trains de voyageurs qui, grâce à cette liaison et depuis de longues années déjà, peuvent déposer leurs voyageurs indifféremment aux gares de la rive droite ou à la gare de Bohême.

Enfin la gare de Berlin (rive gauche), la dernière créée, après le rachat des Compagnies par l'État, a été reliée à son tour à la gare de Bohême qui, par ces divers rattachements ainsi que par sa situation plus rapprochée du centre de la ville, s'est trouvée toute désignée pour jouer le rôle de gare centrale.

D'ailleurs, des nécessités de voirie urbaine imposaient la transformation radicale de cette gare, dont les voies établies au ras du sol constituaient, pour la circulation entre la ville et ses faubourgs, une gêne constamment croissante.

Le développement très rapide de la ville (1), le désir de donner une satisfaction plus large au mouvement commercial et aux besoins de circulation de toute nature amenèrent à l'idée d'un remaniement d'ensemble dans tout le système des gares que nous venons de décrire. Ce remaniement, très heureusement combiné en vue du développement ultérieur de la ville, a été formulé dans un plan que l'on peut qualifier de grandiose et qui, présenté aux Chambres saxonnes au début de 1890 et adopté par elles, se trouve aujourd'hui déjà réalisé en partie. *(Pl. 102, fig. 3.)*

L'idée fondamentale de cette vaste opération dont la dépense, d'après les premières prévisions, ne devra pas s'élever à moins de cinquante millions de marcs (soit 62 1/2 millions de francs) pour la part des chemins de fer de l'État seulement, consiste à con-

(1) La ville de Dresde, qui comptait 128 000 habitants en 1863, 177 000 en 1873, 220 000 en 1883, en a actuellement près de 300 000. La ville ancienne était constituée par une espèce de noyau central au contour à peu près circulaire, entouré par des fortifications depuis longtemps disparues et transformées comme dans beaucoup de villes en boulevards et en promenades. Autour de ce noyau central, la ville s'est largement développée à peu près dans toutes les directions. Les nouveaux quartiers de luxe sont plutôt au sud et à l'ouest (Sud-Vorstadt, Johannstadt, Antonstadt, Halbertstadt) ; les quartiers ouvriers situés à l'ouest sont Friederichstadt sur la rive gauche, Leipziger-Vorstadt sur la rive droite. *(Pl. 102, fig. 2.)*

centrer le service des voyageurs dans une grande gare principale construite sur l'emplacement de la gare de Bohême actuelle, à doubler cette gare par une gare secondaire établie sur la rive droite de l'Elbe, à peu près dans l'emplacement des gares actuelles de Leipzig et de Silésie, à transformer la ligne de jonction déjà existante entre ces deux points en une véritable ligne métropolitaine surélevée à quadruple voie, continuée à l'est au delà de la gare de Bohême jusqu'à la banlieue de Strehlen, à l'ouest au delà de la gare de rive droite jusque dans le faubourg de Pieschen, et sur laquelle doivent s'échelonner des stations urbaines destinées exclusivement au service local. Cet ensemble doit être encore complété par la création d'une immense gare de triage entièrement nouvelle et présentant les aménagements les plus perfectionnés applicables à ce genre de service, d'un port et d'une gare fluviale le long de l'Elbe, de deux grands bâtiments d'administration, enfin par un remaniement général des gares de marchandises actuelles. Passons rapidement en revue ces différents travaux pour donner à leur sujet quelques explications plus détaillées :

Gare centrale. — La nouvelle gare centrale *(Pl. 100, fig. 15, 16 et 17)* doit être à la fois gare de passage et tête de ligne :

Elle sera gare de passage pour le transit Leipzig-Riesa-Dresde-Bodenbach, c'est-à-dire pour la direction générale du nord-ouest de l'Allemagne sur la Bohême et l'Autriche, Berlin-Dresde-Bodenbach, c'est-à-dire pour la direction Berlin-Vienne.

Elle sera tête de ligne pour les trains en provenance ou à destination de :

Reichenbach (Munich) ;
Gœrlitz (Breslau) ;
Leipzig (par Dœbeln).

Les voies de transit ainsi que les voies de marchandises seront surélevées.

Les voies terminus seront au niveau du sol.

La gare présentera donc deux étages de voies, séparés par une différence de niveau de 4,50 *m*. La disposition est d'ailleurs très analogue à celle de Halle. Les voies surélevées divisées en deux groupes franchissent par des ponts monumentaux la Pragerstrasse, grande voie de communication entre la ville centrale et ses faubourgs du sud. D'un côté (le long de la Strehlenerstrasse), se trouvent deux voies de marchandises, et les voies de voyageurs pour les trains se dirigeant vers Bodenbach. De l'autre côté (le

long de la Wienerstrasse), sont les voies des trains en provenance de Bodenbach.

La cour de la gare, le bâtiment principal des voyageurs, la halle des voies terminus, seront établis dans l'espèce d'îlot compris entre ces deux groupes des voies surélevées. Un bâtiment d'accès secondaire sera construit en bordure du viaduc sur la Wienerstrasse et réuni par plusieurs tunnels avec le bâtiment central, qui renfermera la salle des Pas-Perdus avec, à droite et à gauche, les salles d'attente et les salles de bagages. Les voies basses seront recouvertes par une halle de 59 *m* de portée, les voies hautes par deux halles de 31 et 32 *m*.

Du côté ouest, le terrain se relève notablement et les premières rues traversées seront passées par-dessous au moyen de trois ponts métalliques actuellement déjà construits (Bergstrasse, Chemnitzerstrasse et Falkenstrasse). Plus loin le sol s'abaisse de nouveau assez brusquement et la quadruple voie de jonction se continue en viaduc et en remblai (1). — Les différentes voies ferrées, basses ou surélevées au sortir de la gare, se dégagent d'ailleurs les unes des autres au moyen de passages inférieurs ou supérieurs, tout croisement de voies à niveau étant rigoureusement proscrit.

A l'est de la Pragerstrasse, faisant face au bâtiment central, un terre-plein au niveau des voies hautes est réservé en dehors de plusieurs voies de service, aux quais de départ et d'arrivée des trains de la banlieue est (Dresde-Pirna). De ce côté, les voies se continuent, en remblai de 4 à 5 mètres de hauteur avec murs de soutènement et passages inférieurs pour les rues traversées jusqu'à Strehlen, où la ligne reprend son niveau primitif, qui est celui du sol. Une rue latérale de *14 m* de largeur, l'*Östbahnstrasse*, longe du côté sud les voies surélevées sur toute cette partie du parcours. Enfin, à droite et à gauche des voies, sur la Wienerstrasse et sur la Strehlenerstrasse, s'élèvent deux grands bâtiments actuellement presque achevés, destinés à loger, le

(1) Pour tenir compte de nombreuses protestations soulevées par les riverains lors de la discussion sur l'exhaussement des voies, on s'est décidé à réduire cet exhaussement au minimum (4 à 5 *m*) surtout dans les quartiers élégants compris entre la gare centrale et Strehlen. En raison de cette faible hauteur on a dû renoncer à utiliser d'une façon générale le dessous des voies, et le remblai avec mur de soutènement a été substitué au viaduc sur la majeure partie du parcours. Il n'y aura guère d'utilisation pour la location que sur une longueur de 1 700 *m* environ, aux abords de la Pragerstrasse et de la Wettinerstrasse. Sur ces sections les voies séront portées par un tablier métallique reposant sur des piles en maçonnerie. A toutes les traversées supérieures des rues, les voies sont portées par des poutres métalliques, et des dispositions spéciales qui semblent donner de bons résultats ont été adoptées pour diminuer les vibrations et atténuer le bruit au passage des trains.

premier, la Direction générale des chemins de fer de l'État de Saxe, et le second, les bureaux de l'Administration centrale.

Les dimensions de la nouvelle gare centrale ne permettant pas d'y installer les voies nécessaires pour le garage de trains et de machines, cette gare se trouvera complétée par l'installation d'une gare de service annexe établie sur une partie de la gare actuelle de marchandises de Dresde-Altstadt. Là se trouveront des dépôts avec approvisionnement de charbon, les voies nécessaires pour la formation et la décomposition des trains, une usine à gaz d'huile pour l'éclairage des voitures; enfin, les installations nouvelles pour la poste et le service local de grande vitesse.

Ligne métropolitaine et gare de la Wettiner-Strasse. — Sur la ligne de jonction, entre les deux rives de l'Elbe, les deux voies anciennes resteront affectées au service des voyageurs, tandis que les deux voies nouvelles établies du côté opposé au centre de la ville seront réservées au mouvement des marchandises. L'élargissement du viaduc nécessité par ce doublement des voies se fera en empruntant le lit d'un petit affluent de l'Elbe qui longeait primitivement le viaduc et dont le cours a été détourné. Cette petite rivière (la Weisseritz), assez analogue à la Bièvre, a été accaparée depuis longtemps pour les usages industriels, et il y avait tout avantage à éloigner de la ville ses eaux souillées, en reportant son embouchure dans l'Elbe, à l'aval de Dresde, près du village de Cotta. En outre, grâce aux espaces que cette déviation rend disponibles, le viaduc elargi se trouvera naturellement bordé du côté du faubourg, sur la plus grande partie de son parcours, par des rues latérales et des promenades.

Quant au passage de l'Elbe, différentes solutions sont en présence, soit que, maintenant les deux voies actuelles sur le pont en pierre de Marienbrücke, on construise en aval un pont métallique pour les deux voies nouvelles, soit qu'abandonnant entièrement le pont actuel à la circulation des piétons et des voitures, on reporte sur le nouveau pont métallique d'aval l'ensemble des quatre voies ferrées. Des négociations sont entamées entre l'Administration des chemins de fer et la municipalité pour régler la question et fixer la part éventuelle que dans cette dernière solution la Ville aurait à supporter dans la dépense.

A peu près au milieu du parcours compris entre la gare centrale et la gare de la rive droite, au passage de la Wettinerstrasse et à proximité du faubourg populeux de Friederichstadt, s'élèvera une

gare métropolitaine construite sur le type des grandes gares de Friederichstrasse et d'Alexanderplatz à Berlin, avec halle de 36 *m* de portée sur une centaine de mètres de longueur.

Gare de voyageurs de la rive droite. — Sur la rive droite de l'Elbe, les gares de Leipzig et de Silésie doivent être supprimées et remplacées par une gare secondaire unique construite dans l'emplacement de la gare de Silésie et dont l'axe coïncidera à peu près avec la direction actuelle des voies de Gœrlitz.

Cette gare sera établie sur le modèle des grandes gares de la Stadtbahn de Berlin, mais sans bâtiment latéral, tous les services à installer dans le rez-de-chaussée devant être concentrés sous les voies, qui seront surélevées à 6,50 *m* environ au-dessus du sol des rues avoisinantes, de manière à supprimer tous les passages à niveau actuels.

La gare de la rive droite sera exclusivement de passage, à savoir pour les trains :

De Reichenbach (Munich) sur Gœrlitz (Breslau),

De Bodenbach (Vienne) sur Leipzig,

De Bodenbach (Vienne) sur Berlin (par Elsterwerda ou Rœderau).

Et vice versa.

Les voies de marchandises contourneront extérieurement le bâtiment des voyageurs.

A partir de cette gare, les trains de Leipzig et Berlin suivront une ligne nouvelle jusqu'au foubourg de Pieschen, où cette ligne rentrera dans le tracé actuel. Cette dernière section, établie en remblai avec murs de soutènement, et prévue à quadruple voie (bien que provisoirement trois voies seulement doivent y être établies), sera traitée à la manière d'une ligne métropolitaine, de manière à desservir les quartiers du faubourg de Leipzig qui tendent à se développer considérablement, et où la Ville projette dès à présent tout un ensemble de rues et de boulevards nouveaux (1).

De Pieschen à Coswig, il y aura trois voies.

Quant aux voies de Gœrlitz, elles rentreront dans le tracé actuel après le passage inférieur de la Bischoffstrasse. Ces voies se dégageront de celles de Leipzig par des passages en dessus ou en dessous, de façon à éviter tout croisement de voies à niveau.

(1) Le tracé de ce nouveau quartier, d'après le plan adopté par la Ville, est figuré en traits pointillés rouges sur le plan d'ensemble (*Pl. 102, fig. 3*).

Gare centrale de triage. — Une très grande gare de triage est déjà construite à proximité de l'emplacement actuel de la gare de Berlin-Friederichstadt. L'acquisition de vastes terrains faisant partie du domaine d'Ostra, appartenant à l'État, a permis de donner un grand développement à cette gare, qui s'étend depuis le viaduc de jonction jusqu'auprès du village de Cotta, sur une longueur de 2800 *m* avec une largeur de 300 *m* en moyenne.

Après la mise en service de cette gare, qui doit être inaugurée le 15 avril de cette année, le service général des marchandises, complètement remanié, sera reconstitué d'après les principes suivants :

Tous les trains de marchandises arrivant à Dresde seront d'abord dirigés sur la nouvelle gare de triage. Des raccordements avec le viaduc métropolitain permettront d'y amener :

D'une part, les trains de Bodenbach, Chemnitz et de la gare locale des marchandises de Dresde-Altstadt.

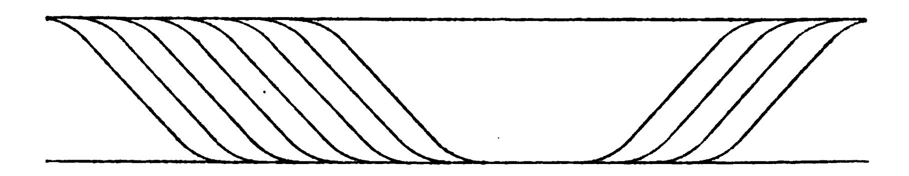
D'autre part, ceux de Gœrlitz et de la gare locale de marchandises de Dresde-Neustadt.

Enfin, les trains de marchandises des lignes de l'ouest (ligne de Leipzig par Riesa, de Leipzig par Dœbeln, de Berlin par Rœderau et Elsterwerda) arriveront à la gare de triage par la ligne Berlin-Elsterwerda-Dresde *(Pl. 102, fig. 1)*, qui, débarrassée des trains de grandes lignes entre Dresde et Coswig et affectée désormais à ce dernier service et à un service de banlieue, aura sa voie unique doublée et sera rattachée près de Coswig aux grandes lignes de Berlin et Leipzig par des raccordements dont la construction est déjà achevée.

Les trains de marchandises arrivant ainsi par directions opposées dans la nouvelle gare de triage y seront reçus sur onze voies de garage, d'où les wagons seront montés sur la rampe de triage, pour en redescendre ensuite par la gravité sur cinq voies de tiroirs d'au moins 300 *m* de longueur utile. Les voies de tiroirs se continuent elles-mêmes par un groupe de vingt-cinq voies de triage. Les wagons se trouveront classés sur ces voies par directions générales. Mais comme le nombre des wagons destinés aux stations extrêmes dépasse souvent de beaucoup celui des wagons désignés pour les stations intermédiaires, parmi ces voies de triage, on en a réservé spécialement quelques-unes pour les wagons à destination des points terminus.

A la suite des voies de triage sont les *grils* servant à classer les wagons d'une même direction d'après l'ordre des stations. Ce

classement s'effectuera par des grils doubles dont les voies, au nombre de quatre à huit, disposées comme l'indique le croquis ci-contre, rentrent à leurs extrémités dans une voie unique,



aboutissant au groupe des voies de sortie, qui sont au nombre de onze. En outre, pour le classement des trains à destination des gares locales de marchandises, on a prévu deux grils simples de quatre à cinq voies. Les voies réservées aux wagons des stations extrêmes sont directement rattachées aux voies de sortie.

Les aiguilles des grils n'ont que 3 *m* de longueur; les rayons sont de 146 *m*.

Les wagons qui auraient reçu par erreur une fausse direction peuvent être arrêtés à l'extrémité inférieure des grils au moyen d'une disposition particulière (système Kœpeke) : le wagon passe, par la manœuvre d'une aiguille spéciale sur des rails parallèles à ceux de la voie normale auxquels ils sont juxtaposés. Ces rails sont recouverts d'une mince couche de sable contenue entre deux longrines en bois.

La pente moyenne depuis le point le plus élevé de la gare de triage jusqu'au milieu environ des voies de sortie est de $\frac{1}{100}$. La plus grande différence de niveau est de 17,20 *m*.

Un quai couvert de 280 *m* de longueur, avec toutes les voies et accessoires nécessaires, sera affecté au déchargement de wagons de détail. Au sud-est de la gare de triage sont prévues les installations pour les dépôts de machines, comprenant quatre remises (dont trois immédiatement construites) pouvant recevoir chacune vingt machines. Signalons encore, comme constructions importantes, un bâtiment d'administration, un dortoir pour le personnel des trains (en bordure sur la Waltherstrasse) et, près de Cotta, une usine pour la production de la lumière électrique destinée à l'éclairage général de toutes les nouvelles gares (1). Enfin,

(1) Cet éclairage comprendra 800 lampes à arcs et 5000 lampes à incandescence. Le courant sera obtenu au moyen de deux machines-dynamos de 350 *chx* chacune, actuellement déjà installées. On prévoit l'installation ultérieure à deux autres dynamos de 300 *chx* chacune, ce qui portera à 1 300 *chx* la puissance totale de l'usine.

des ouvrages d'art assez importants devront être construits pour le passage inférieur de deux rues et de la Weisseritz détournée, et pour le passage supérieur de la Waltherstrasse. Ce dernier passage, de 300 *m* de longueur, franchit, outre les voies de la gare de triage, celles de la ligne de banlieue de Dresde (gare centrale) à Niederwartha et Coswig, sur laquelle une halte, avec quai central directement accessible depuis le pont de la Waltherstrasse, a été établie. Des trains spéciaux feront le service entre la gare de triage et les gares de marchandises locales (Friederichstadt, Altstadt et Neustadt).

Cette vaste gare de triage, conçue d'après un plan d'ensemble très remarquable, sera sans doute l'un des types les plus complets et les mieux installés de gare de ce genre. Le nombre journalier des wagons à classer atteint déjà le chiffre de 3 000. Il est à prévoir qu'il s'augmentera encore considérablement dans l'avenir, et les installations nouvelles sont faites en conséquence.

Gares de marchandises.— Les gares de marchandises actuelles seront partiellement remaniées pour être appropriées au nouveau service. La gare de *Dresde-Friederichstadt*, sera conservée à peu près dans son état actuel, sauf quelques modifications nécessitées dans la disposition des quais de chargement et de transbordement. Une voie nouvelle sera établie pour permettre de refouler les wagons jusque vers Cotta dans la gare de triage.

En raison même de sa proximité avec la nouvelle gare de triage, on peut prévoir une extension rapide dans le mouvement de la gare de Friederichstadt, et des précautions sont prises, dès à présent, en vue de cette éventualité.

La gare de marchandises *Dresde-Altstadt* reste à peu près dans son état actuel en tant que locaux affectés à la manutention des marchandises. Quelques agrandissements de ces locaux seront seuls nécessaires. La principale modification porte sur la création de voies de raccordement avec la nouvelle gare de triage et sur l'établissement de voies de passage pour les trains de marchandises venant de Chemnitz à destination de Friederichstadt. Une nouvelle rue d'accès partant de la Rosenstrasse doit être ouverte.

La *Gare aux Charbons* de Dresde-Altstadt, qui n'est en quelque sorte qu'une annexe de la précédente, ne reçoit qu'une modification consistant dans la construction d'un raccordement avec l'embranchement du nouveau port de l'Elbe. Sur ce dernier embranchement, la Ville établit un dépôt central pour le service de

la voirie urbaine, ainsi qu'un grand marché qui doit être édifié sur les terrains des squares longeant l'ancien lit de la Weisseritz.

Sur la rive droite de l'Elbe et sur l'emplacement actuel de la gare de Leipzig et d'une partie de la gare de Silésie, doit être établie une nouvelle gare de marchandises pour *Dresde-Neustadt*. Cette gare, dont les voies seront au même niveau que celles des gares actuelles (c'est-à-dire à peu près au niveau du sol des rues avoisinantes) sera reliée aux gares de la rive gauche par deux voies surélevées traversant en viaduc la partie antérieure de la gare, passant par-dessus la Leipzigerstrasse et la Uferstrasse, et se raccordant avec les voies de marchandises du viaduc métropolitain un peu avant le pont de l'Elbe.

Il y aura également un raccordement, mais à voie unique, avec les lignes de Silésie. Enfin, on a prévu la possibilité d'établir sur ce dernier raccordement une petite gare de triage secondaire, permettant de diriger directement sur la gare de marchandises de Dresde-Neustadt les wagons à destination de cette gare et en provenance de la ligne de Gœrlitz sans les obliger à passer par la gare de triage principale. Du côté nord-ouest, la gare de marchandises Dresde-Neustadt se soude directement, près du faubourg de Pieschen, et derrière la remise actuelle des locomotives qui doit disparaître, avec les voies principales de Leipzig et Berlin. Ce raccordement est principalement destiné au passage des wagons à destination de la station de banlieue de Radebeul (la station suivante de Kœtschenbroda devant être desservie par Cosswig). La partie de la gare de marchandises Dresde-Neustadt située du côté sud, c'est-à-dire vers l'intérieur de la ville, sera spécialement occupée par des hangars et des quais découverts avec rampes d'accès. Du côté opposé seront établies de nombreuses voies de *débord*. Le passage supérieur actuel de la Concordienstrasse sera supprime. Par contre, une nouvelle rue, plus directement orientée vers le centre de la ville, traversera les voies par le passage inférieur considérablement élargi de la Moritzburgerstrasse.

Un second marché couvert doit être construit par la Ville à proximité de la gare des marchandises de Neustadt.

Nouveaux ateliers. — Par suite de la suppression des ateliers actuels de réparation de la gare de Silésie, et des ateliers de réparation de voitures de la gare de marchandises d'Altsdadt, de *nouveaux ateliers* ont eté établis à Friederichstadt. Cette installation s'imposait d'ailleurs par la nécessité d'une réorganisation générale

du service des ateliers de réparation des chemins de fer de l'État de Saxe.

Ces ateliers, aménagés dès le début pour pouvoir recevoir 308 voitures et 91 locomotives, sont disposés de manière à se prêter facilement à des agrandissements ultérieurs. Ils se trouvent en contact immédiat avec la gare de triage, où les wagons à réparer pourront être facilement triés pour être dirigés vers les ateliers.

Port de l'Elbe. — En dernier lieu, je dois mentionner encore la création d'un grand port dans les prairies submersibles de l'Ostragehage.

Ce port comportera dès le début un bassin d'environ 1 *km* de longueur sur 150 *m* de largeur, entouré de quais en maçonnerie. La fouille du bassin (1 100 000 mètres cubes), et l'établissement des quais sera fait aux frais du service de la navigation. Le service des chemins de fer de l'État prendra à sa charge la mise en état des abords, y compris le raccordement direct ci-dessus mentionné avec la gare de triage de Friederichstadt et la gare aux charbons, la pose des voies de service et l'établissement des chaussées, hangars et tous appareils de chargement et déchargement.

Les travaux comprendront l'exécution immédiate de deux quais longitudinaux, l'un de 70 *m* de largeur au nord du bassin, l'autre du côté sud, avec une largeur de 90 *m*. Ces quais, en dehors des voies de service et des chaussées d'accès, porteront 4 grands hangars et 9 grues.

On a prévu un agrandissement ultérieur comportant un doublement de la grandeur du bassin du côté est, et la construction d'un quai central de 1 000 *m* de longueur sur 30 *m* de largeur, dans l'axe du bassin primitif.

Exécution des travaux et dépenses. — Ces nombreux et importants travaux, actuellement en cours d'exécution depuis 1891, doivent être entrepris dans l'ordre suivant (du moins en ce qui concerne le service des chemins de fer) :

Premier groupe de travaux comprenant : L'établissement de la gare de triage, la pose de la seconde voie entre Dresde-Friederichstadt et Naundorff, la construction des raccordements à Zitzchewig et Naundorff. Cet ensemble de travaux doit avoir pour premier effet de débarrasser la gare de marchandises de Dresde-Altstadt du service de triage, et elle permettra de disposer des

surfaces nécessaires pour la construction de la nouvelle gare centrale.

DEUXIÈME GROUPE DE TRAVAUX. — Construction des ateliers de Friederichstadt. Construction de la gare centrale Dresde-Altsdadt. Relèvement des voies de la Pragerstrasse jusqu'à Strehlen. Doublement des voies sur le viaduc de jonction actuel. Construction de la halte métropolitaine de la Wettinerstrasse. Construction du nouveau pont de l'Elbe en aval de la Marienbrucke.

TROISIÈME GROUPE DE TRAVAUX. — Construction de la gare de voyageurs de la rive droite et de la nouvelle jonction à quadruple voie entre Dresde-Neustadt et Pieschen. Établissement de la nouvelle gare de marchandises de Neustadt.

Dépenses. — La dépense qui avait été évaluée d'abord à 50 millions de marcs, pour la part des chemins de fer de l'État, doit être portée à 53 millions de marcs (66 millions de francs) d'après les prévisions actuelles.

Dans cette dépense, la gare centrale doit entrer pour 7 675 000 marcs. Une dépense de 7 450 000 marcs, dont la moitié environ à la charge des chemins de fer, est prévue pour l'établissement du port et ne figure pas dans le chiffre précédent. Les expropriations ne doivent pas coûter plus de 6 millions de marcs. La Ville consent à céder gratuitement les terrains nécessaires qui lui appartiennent, à charge, par le service des chemins de fer, de lui rendre également à titre gratuit les surfaces actuellement occupées et que l'opération doit rendre disponibles. Les terrains nécessaires pour la gare de triage qui faisaient partie d'un domaine de l'État, ont été acquis à un prix peu élevé.

La part de la Ville dans l'opération est représentée par :

1° Une somme de 800 000 marcs, comme contribution au rétablissement des passages inférieurs ou supérieurs primitivement existants;

2° Une dépense d'environ six millions de marcs (dont deux millions pour le déplacement de la Weisseritz) affectés à la création de nouvelles rues et à tous les aménagements généraux motivés par la transformation des gares.

État actuel des travaux. — Les travaux, qui doivent être exécutés, bien entendu, sans apporter aucune interruption à la circulation, ont été commencés dans l'ordre indiqué en 1891.

Ceux du premier groupe sont aujourd'hui presque entièrement terminés.

Ceux du second groupe sont tous commencés à l'exception du pont de l'Elbe pour lequel les négociations avec la Ville sont encore pendantes : les ateliers de Friederichstadt sont à peu près achevés ; les travaux de relèvement des voies sont en pleine activité entre Strehlen et la traversée de l'Elbe ; enfin on travaille aux fondations du bâtiment de la gare centrale dont la partie en façade sur la Strehlenerstrasse doit être terminée d'abord, pour servir de gare provisoire aux voies relevées, tandis qu'on démolira la gare actuelle et les voies basses encore subsistantes.

De son côté, la Ville pousse activement les travaux qui sont à sa charge : plusieurs rues ont été déviées et la Weisseritz coule actuellement dans le nouveau lit bétonné, de 18 *m* de largeur au plafond, qui amène ses eaux auprès du village de Cotta où elle se déverse dans l'Elbe.

Le creusement du nouveau port, dont les déblais ont été utilisés pour l'exhaussement général des voies et pour les remblais de la gare de triage, est fort avancé : on prévoit dès à présent qu'il pourra être mis en service en 1896.

La gare centrale doit être terminée en 1897 ; celle de Neustadt en 1900, en sorte que l'achèvement complet de ces grands travaux, exécutés dans une période de neuf années, semble devoir coïncider avec le commencement du nouveau siècle.

OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES GARES PRÉCÉDEMMENT DÉCRITES. QUESTIONS D'ASPECT

J'ai terminé avec les gares de Dresde la série des descriptions des détails que je me proposais de faire : je compléterai ce rapide examen par quelques remarques générales.

Tunnels. — Une disposition commune à la plupart des gares précédemment décrites consiste dans l'établissement de tunnels transversaux servant pour accéder aux quais d'embarquement. Ces tunnels, généralement spacieux, ont une largeur qui varie entre 6 *m* et 8 *m* pour les tunnels principaux, entre 4 *m* et 5 *m* pour les tunnels secondaires. Établis à une profondeur de 3,50 *m* à 4,50 *m* au-dessous du niveau des voies, ces passages souterrains constituent une très bonne solution pour la suppression des traversées à niveau des voies, et le seul inconvénient qu'ils sembleraient pouvoir présenter, celui de l'obscurité, se trouve fort atténué par l'emploi de pavages vitrés supérieurs ainsi que par l'existence des nombreuses baies que les escaliers dé-

bouchant sur les quais ouvrent dans leurs parois latérales. Enfin, en dernière ressource, on peut encore recourir pour les éclairer au gaz ou à la lumière électrique. Les parois de ces passages portent en général des revêtements de faïence claire, qui contribuent à en augmenter la clarté et leur donnent un aspect propre et agréable. A Cologne, les escaliers qui mettent les tunnels en communication avec le quai central sont fort larges, et présentent un palier à partir duquel ils se retournent par deux rampes parallèles au tunnel : les voûtes d'arête qui recouvrent ces paliers sont portées par des piliers trapus en marbre noir d'un bel effet décoratif.

La condition de suppression des traversées à niveau des voies nécessitant l'adoption de passages inférieurs ou supérieurs, l'emploi des tunnels a sur celui des passerelles l'avantage incontestable d'exiger une différence de niveau sensiblement moins grande et d'imposer par conséquent aux voyageurs la montée et la descente d'un nombre de marches notablement moindre. Mais le choix du tunnel semble particulièrement justifié lorsque, comme dans presque tous les exemples précédents, les voies et les quais se trouvent établis en surélévation au-dessus du sol. Dans ce cas, en effet, les tunnels peuvent être installés de plain-pied avec la salle des Pas-Perdus qui leur sert d'accès.

Halles métalliques. — Pour ce qui concerne les halles métalliques, les Ingénieurs allemands semblent donner la préférence aux grandes portées. Elles ont l'avantage de présenter un meilleur aspect, de fournir une aération plus satisfaisante, de diminuer le nombre des points d'appui toujours encombrants sur les quais et de permettre enfin d'embrasser d'un seul coup d'œil l'ensemble des quais et des voies. Le tableau comparatif suivant permet de se rendre compte des dimensions des halles et de la surface couverte dans les principales gares précédemment décrites :

DÉSIGNATION DES GARES	NOMBRE DES HALLES	DIMENSIONS DES HALLES			SURFACE COUVERTE
		OUVERTURES	LONGUEUR	HAUTEUR	
		m	m	m	m²
Francfort	3 halles égales.	56 56 56	186	28,60	31 248
Cologne	3 halles. une grande, deux petites	13,37 63,90 13,37	255	24	22 200
Berlin, gare d'Anhalt	1 halle.	60,70	167,80	34,20	10 185
Brême.	1 halle.	59,30	131	27,10	7 768
Hanovre.	2 halles.	37,50 37,50	170	14	6 310
Berlin, gare de Friederichstrasse	1 halle.	36,80	145	19,60	5 336

Quelques aménagements de détail. — Dans les gares allemandes, on trouve toujours à proximité des guichets un bureau de télégraphe public et souvent aussi un bureau de poste. On trouve également près de la salle des Pas-Perdus et indépendamment de la consigne des bagages une sorte de vestiaire confié à la garde du portier de la gare, où les voyageurs peuvent très commodément et très rapidement se débarrasser de leurs pardessus, cannes, parapluies et menus objets, la consigne servant uniquement pour le dépôt des colis proprement dits.

De petits salons d'attente spéciaux sont réservés presque partout pour les dames.

Enfin, au grand avantage du public, les affiches commerciales sont généralement proscrites, tandis que des écriteaux bien placés et très lisibles donnent au voyageur tous les renseignements dont il a besoin, et lui permettent de s'orienter facilement et sans aide. A ce point de vue, une disposition utile est à signaler : dans beaucoup de salles d'attente et de buffets, on trouve, au-dessous des horloges, des cadrans spéciaux où sont marquées en gros caractères l'heure et la direction du plus prochain départ.

Grande propreté des nouvelles gares. — Une observation générale doit porter encore sur la tenue remarquable de toutes ces gares, dont quelques-unes pourtant sont déjà en service depuis d'assez longues années. On est frappé partout de la propreté extrême qui y règne ; nulle dégradation, nulle souillure, ni sur les murs, ni sur le sol ; on dirait des bâtiments inaugurés de la veille. Ce résultat ne peut être obtenu que par un entretien de tous les instants de la part du personnel, car il est à remarquer qu'en général le respect du public pour les locaux affectés à son service est en raison directe du soin avec lequel ces locaux sont entretenus. Le moindre relâchement à cet égard entraîne fatalement de sa part une réciprocité de laisser aller regrettable (1).

Cette remarque sur la physionomie des gares allemandes m'amène à vous parler de leur aspect architectural.

Aspect architectural. — La question d'aspect, bien qu'elle s'écarte davantage de nos préoccupations d'ingénieurs, n'est pas cependant une des moins importantes quand il s'agit de grandes gares de chemins de fer, et dans un pays comme le nôtre, où l'ar-

(1) Je signalerai à ce sujet l'adoption à peu près générale pour le revêtement des quais de carrelages céramiques, beaucoup plus propres et moins glissants que l'asphalte en usage chez nous.

chitecture a produit tant de chefs-d'œuvre, elle doit être négligée moins qu'ailleurs.

Il est certain d'abord que la première chose que nous montrons actuellement à l'étranger qui nous visite, ce sont nos chemins de fer et nos gares, et, pour notre amour-propre national, il est bon que cette première impression soit favorable et digne du pays qui la donne.

Mais, à un point de vue artistique plus général, c'est peut-être dans la construction des gares de chemins de fer que l'architecture moderne peut trouver son expression la plus originale.

L'architecture, en effet, plus que tous les autres arts parce qu'elle est plus impersonnelle, est appelée à traduire et à résumer en quelque sorte la pensée dominante de chaque époque.

A l'heure actuelle, il est incontestable que la note dominante c'est le développement industriel, effet direct des grandes découvertes scientifiques du commencement de ce siècle, et les chemins de fer, qui jouent aujourd'hui un rôle si considérable dans la vie des peuples, ne sont-ils pas une des expressions les plus caractéristiques de ce grand essor industriel? Il y aurait assurément quelque gloire pour nos architectes à se dégager des traditions qui les condamnent à des pastiches plus ou moins heureux et à donner, pour les gares de chemins de fer, l'expression artistique la plus définitive que peut comporter l'idée moderne.

Chez nos voisins, qui sont à coup sûr moins artistes que nous, mais qui observent consciencieusement ce qui se fait au dehors et qui savent en tirer parti, de grands progrès ont été réalisés dans ce sens, et les quelques vues trop peu nombreuses que je puis mettre sous vos yeux *(Pl. 101)* vous permettront cependant de vous en rendre compte.

Voici d'abord les gares de Hanovre et de Magdebourg, aux façades lourdes et tristes, rappelant plutôt par leur aspect massif des casernes, des bâtiments d'administration ou des hôpitaux.

Puis viennent une série de gares dont celles d'Hildesheim et de Cassel offrent des types caractéristiques. Conçues un peu à l'imitation des gares de Vienne, plusieurs de ces gares, par les motifs prétentieux de leur décoration, ressemblent plus à des burgs du moyen âge ou à des édifices religieux du style gothique qu'à des gares modernes de chemins de fer.

La gare d'Anhalt semble d'un aspect déjà mieux approprié à sa destination. Un bel escalier conduit du vestibule du rez-de-chaussée à l'étage supérieur des quais.

Nous arrivons à la gare de Francfort, dont vous vous rappelez la disposition intérieure si remarquable et dont la façade, d'un très bel effet, avec ses décrochements puissants, réalise certainement le type le mieux réussi des gares récemment construites en Allemagne.

La gare de Cologne, dont la façade principale n'est pas encore entièrement terminée, manque peut-être un peu de simplicité, mais il est difficile de porter dès à présent un jugement définitif sur son aspect d'ensemble; ce qu'on peut dire toutefois, c'est que la grande halle métallique qui recouvre les voies est d'un aspect très imposant, tandis que le bâtiment central installé sous cette halle laisse — au point de vue des lignes générales et de l'ornementation — beaucoup à désirer.

En dernier lieu, je puis vous montrer encore la façade et l'élévation latérale du projet adopté pour la nouvelle gare de Dresde. Ce projet est d'un bon style et son exécution promet d'être d'un heureux effet.

J'ajouterai que pour les projets de la plupart de ces gares, le système adopté a été celui d'un concours largement ouvert à tous les architectes ou ingénieurs, et que ce système libéral semble avoir donné, notamment à Francfort et Dresde, de très satisfaisants résultats.

CONCLUSION

Cette trop courte étude suffira pourtant, je l'espère, pour permettre d'apprécier l'importance des travaux accomplis en Allemagne depuis une quinzaine d'années. Il est incontestable que dans ces derniers temps nos voisins ont réalisé dans l'outillage de leurs voies ferrées, et surtout dans l'installation de leurs gares, des progrès considérables dont malheureusement nous ne trouvons pas chez nous l'équivalent.

Si pénible que puisse être pour notre amour-propre national cette constatation, il serait puéril néanmoins de se fermer volontairement les yeux. Bien plus, j'estime que le devoir d'un véritable patriotisme consiste à suivre attentivement les progrès réalisés au dehors, de manière à tenir constamment notre activité en éveil (1).

(1) C'est ainsi d'ailleurs qu'ont agi les Allemands eux-mêmes, notamment au point de vue de la tenue de leurs grandes villes. Ceux qui ont visité l'Allemagne il y a vingt-cinq ans et qui peuvent établir des comparaisons entre l'état d'alors et l'état actuel sont très frappés de constater combien, dans l'aménagement des rues, des boulevards et des promenades, dans toutes les questions de voirie en général, ils ont profité en les imitant des progrès qui avaient été réalisés chez nous vers la fin du second Empire.

Quelle est la cause de ce fâcheux état de choses ? Ce n'est pas ici le lieu de le rechercher. Certes, on ne doit accuser ni la bonne volonté des Compagnies, ni le mérite incontesté de leurs Ingénieurs, mais il est certain que le régime général de nos voies ferrées y est pour beaucoup.

Entre l'Angleterre, où l'industrie privée absolument libre et stimulée par la concurrence, opère à ses risques et périls, et l'Allemagne, où l'initiative de l'État s'est entièrement substituée à l'initiative privée, nous représentons une solution intermédiaire qui participe aux inconvénients des deux systèmes sans en présenter les avantages. L'industrie privée, sous l'étroite tutelle de l'administration, perd de sa responsabilité et de son initiative, et la suppression des concurrences lui ôte un de ses principaux stimulants, tandis que l'État, d'autre part, bornant son action à un contrôle qui est souvent une entrave, renonce à rien faire par lui-même et supporte par le fait du système des garanties des charges très lourdes et qui vont croissant d'année en année.

Quoi qu'il en soit, et sans chercher à traiter à fond la question économique, il est impossible de ne pas se demander avec quelles ressources l'Allemagne a pu réaliser les grands travaux sur lesquels je viens d'attirer votre attention. On a parlé d'intérêt militaire, de gros sacrifices que l'État se serait imposés dans un but stratégique. Certes, je ne prétends pas que le remaniement général du réseau allemand n'ait pas à ce point de vue une portée considérable et, soit dit en passant, ce ne serait une raison ni pour nous désintéresser de cette œuvre de transformation ni pour nous détourner de l'imiter chez nous. Mais il est certain que les installations des grandes gares de voyageurs que je viens en particulier de vous décrire n'offrent qu'un intérêt militaire à peu près négligeable.

L'explication réelle se trouve dans ce fait qu'en Allemagne les chemins de fer rachetés par l'État dans d'heureuses conditions lui apportent chaque année de notables excédents de bénéfices qu'il consacre pour la majeure partie à des améliorations du genre de celles que je vous ai signalées.

En raison de l'importance spéciale des travaux en cours d'exécution à Dresde et de la somme considérable qu'ils représentent, j'ai cherché en particulier à me rendre compte de la situation des chemins de fer de l'État de Saxe, situation qui, d'après la statistique officielle, peut se résumer pour l'exercice 1891 dans les quelques chiffres suivants :

Longueur du réseau	2 540 *km.*
Capital de construction	735 097 000 marcs.
(soit 290 000 marcs par kilomètre).	
Capital de rachat	677 668 000 —
(soit 267 000 marcs par kilomètre.)	

Matériel d'exploitation comprenant :

Locomotives	946
Tenders	668
Voitures de voyageurs	2 555
Wagons de marchandises	23 931

Nombre de locomotives-kilomètres effectués	24 878 000
Nombre de voitures-kilomètres	202 033 000
Nombre de wagons-kilomètres	616 687 000
Nombre de voyageurs transportés	34 936 592
Tonnes de marchandises transportées	17 062 745

Recettes :

Voyageurs	27 067 000
Marchandises	57 253 000
Recettes accessoires	4 674 000
RECETTES TOTALES	88 994 000

Dépenses :

Administration générale (9,12 0/0).	4 708 000	51 738 000
Voies et matériel fixe (20,85 0/0).	10 839 000	
Traction et matériel roulant (70,03 0/0).	36 191 000	
Péages	856 000	5 306 000
Fonds de renouvellement et de réserve	4 450 000	
TOTAL GÉNÉRAL		57 044 000

Recettes nettes	31 950 000 marcs
(soit 4,72 0/0 du capital de rachat).	
Coefficient d'exploitation	64,10 0/0.

Si l'on calcule à 3 1/2 0/0, taux actuel de la rente saxonne, l'intérêt du capital engagé pour le racha des Compagnies on

trouve une somme de 23 722 000 marcs, qui, défalquée du chiffre des recettes nettes précédentes, laisse un excédent de 8 228 000 marcs, soit plus de 10 millions de francs.

On conçoit qu'avec des excédents pareils, l'Administration des chemins de fer saxons puisse retrouver au bout d'un petit nombre d'exercices la somme nécessaire pour payer des travaux tels que ceux de Dresde.

Faisons par comparaison un calcul analogue pour nos six grands réseaux. En dehors du capital-obligations dont la rémunération doit toujours rester à peu près la même, nous trouvons pour l'ensemble des six Compagnies (Est, Midi, Nord, Orléans, Ouest, P.-L.-M.). un capital social de 1 470 millions en nombre rond. Ce capital absorbe annuellement 158 millions en intérêts et dividendes. Supposons que le rachat par l'État ait pu être effectué comme en Allemagne au moyen d'un capital à peu près égal au capital de construction, en comptant à 3 1/2 0/0 l'intérêt de ce capital, on n'aurait à prélever que 51 millions 1/2 sur la recette nette, d'où une économie de plus de 100 millions, qui non seulement dispenserait l'État de ses versements de garantie, mais laisserait peut-être encore un reliquat disponible et applicable à des travaux de renouvellement.

Je n'ai pas l'intention, bien entendu, de faire ici le procès des Compagnies de chemins de fer, dont la situation est très légitimement acquise et dont les intérêts sont fort respectables. Ayant couru les risques de l'entreprise à ses débuts, il est bien juste qu'elles bénéficient aujourd'hui de ses avantages.

Cette remarque n'a d'autre but que de montrer, contrairement à certaines doctrines économiques, qu'il peut être regrettable pour l'État de se désintéresser trop complètement des grandes entreprises fructueuses, alors que les entreprises moins heureuses et avortées de l'industrie privée retombent toujours fatalement à sa charge.

Enfin, et c'est sur cette observation que je désire insister encore en terminant, on ne saurait trop remarquer, dans toutes les transformations de gares que j'ai précédemment décrites, le soin intelligent avec lequel ces remaniements ont été associés aux questions de voirie et conçus de manière à favoriser l'extension ultérieure des villes.

La création de chemins de fer et le choix dans l'emplacement des gares sont toujours appelés, en effet, à exercer une grande influence sur les développements urbains; et à ce point de vue

c'est une grave erreur trop souvent commise de donner aux gares et à leurs dépendances des dimensions trop restreintes, parce que plus tard les terrains avoisinants, ayant pris par l'existence même de ces gares une plus grande valeur, les extensions qui s'imposent deviennent infiniment plus dispendieuses. Aux abords de toutes les gares nouvelles que j'ai décrites, et notamment à Dresde, Dusseldorf, Francfort, etc., les municipalités, sagement prévoyantes, ont arrêté par avance le tracé de quartiers nouveaux, que la proximité des gares devait mettre rapidement en valeur. Il serait à désirer que pareille chose eût lieu fréquemment chez nous, et que les villes comprissent enfin combien le développement des chemins de fer peut, par une judicieuse entente, leur être favorable.

Je dois adresser tous mes remerciements à M. Péronne, chef des travaux photographiques à l'Ecole des Ponts et Chaussées, qui a bien voulu faire exécuter avec grand soin les reproductions photographiques présentées à la séance du 2 mars. Je remercie également M. Mareuse qui m'a prêté fort obligeamment son concours pour les projections.

P. H

DU CALCUL DES OUVRAGES

EN

CIMENT AVEC OSSATURE MÉTALLIQUE

PAR

MM. ED. COIGNET & N. DE TÉDESCO

SOMMAIRE

Pages.

CHAPITRE PREMIER

CHAPITRE II

Avantages des constructions en ciment avec ossature métallique.

CHAPITRE III

Choix des matériaux.

CHAPITRE IV

Solides travaillant à l'extension.

CHAPITRE V

Solides travaillant à la compression.

CHAPITRE VI

Solides travaillant à la flexion.

CHAPITRE VII

Détermination du coefficient d'élasticité du ciment.

CHAPITRE VIII

Calcul des poutres.

CHAPITRE IX

Établissement d'une série de types rationnels de planchers.

CHAPITRE X

CHAPITRE XI

DU CALCUL DES OUVRAGES

EN

CIMENT AVEC OSSATURE MÉTALLIQUE

PAR

MM. Ed. COIGNET et N. DE TÉDESCO

CHAPITRE PREMIER

Historique.

Les constructions en ciment avec ossature métallique remontent à une époque plus éloignée qu'on ne croit généralement. Il figurait à l'Exposition de 1855, qui se tint au Palais de l'Industrie, un bateau construit ainsi.

Nous demanderons la permission de mettre sous les yeux des membres de la Société quelques extraits du livre intitulé : *Les bétons agglomérés appliqués à l'art de construire* et publié par M. François Coignet en 1861 (1).

PLANCHERS *(page 97 du Livre).*

Dans le système actuel de planchers en fer, la charge des planchers repose sur le fer, auquel on doit donner une très grande force de résistance, afin qu'il ne plie pas sous le poids, nécessité qui entraîne des dépenses considérables.

Dans les planchers de béton aggloméré, la charge ne repose pas sur les poutrelles en fer; elle repose sur les murs, et les poutrelles ne sont rien autre chose que des tirants, assez solides néanmoins pour qu'en cas de rupture le plancher ne puisse s'écrouler.

(On pose les poutrelles).

« Sous ce réseau de fer on établit un faux plancher en bois ; sur ce faux plancher on verse le béton par couches minces et successives, on le pilonne vigoureusement, et il s'élève peu à peu jusqu'à

(1) Extraits du livre : *Bétons agglomérés appliqués à l'art de construire*, par François Coignet, Ingénieur civil et manufacturier ; publié par E. Lacroix, quai Malaquais, 15. — 1861.

atteindre les poutrelles, à les envelopper entièrement, et enfin à les recouvrir d'une couche de cinq à six centimètres.

» En terminant cette couche supérieure il ne reste qu'à planer et lisser à la truelle.

» Au bout de quelques jours, le béton ayant acquis la dureté de la pierre, on démonte le faux plancher, et il reste une véritable dalle de béton formant plafond par-dessous et carrelage par-dessus.

» Dans ce système de planchers, la ferrure est complètement emprisonnée dans une dalle de pierre dure. On conçoit donc qu'une ferrure ainsi logée dans la pierre ne peut plier sans que la pierre plie elle-même ».

DIGUES ET BARRAGES *(page 140 du Livre).*

« Le béton aggloméré offre des ressources plus grandes encore, car non seulement en sus du poids de la maçonnerie ordinaire, il possède une résistance vive à l'arrachement de dix *kg* par centimètre carré ; mais encore il est possible d'introduire pendant sa confection, au moment du même pilonnage, des tirants, des chaînes en fer ; de telle sorte que, par ce moyen, la résistance du béton, déjà si grande, s'accroîtraît de toute celle de ces matières introduites.

» En effet, que dans un massif de béton aggloméré on introduise des tirants en fer, et avec le principe que nous avons si heureusement appliqué pour la confection de planchers, de toitures en terrasses, on concevra que pour renverser un mur monolithe, traversé dans sa longueur à distances plus ou moins rapprochées par des barres de fer, non seulement il faudra vaincre la force vive de résistance à l'arrachement que présente le béton aggloméré, mais encore il faudra briser les barres de fer. »

VOUTES SURBAISSÉES *(page 195 du Livre).*

« La solidité des voûtes surbaissées peut encore être accrue dans une énorme proportion par l'introduction dans la pâte du béton et pendant la confection de la maçonnerie, conformément à ce que nous avons déjà signalé pour les barrages, de tirants en fer, de chaînes, etc... »

Enfin nous rappelons tout particulièrement le passage suivant relatif aux tuyaux. La question qui est ici traitée est celle de savoir si les tuyaux sont suffisamment résistants.

Tuyaux en béton *(page 111 du Livre).*

« ... Mais des moyens certains se présentent qui peuvent donner au béton toute garantie de résistance suffisante.

» Ces moyens consistent à introduire dans la pâte du béton même et pendant sa confection une toile métallique à larges mailles, au travers desquelles le béton pénétrerait en se soudant; cette toile métallique, repliée sur elle-même pour avoir forme de tube, emprisonnée dans l'intérieur du béton, donnerait certainement une prodigieuse résistance à l'arrachement, résistance plus que suffisante pour vaincre les coups de bélier et les tassements du sol. »

On voit par tous ces extraits que si M. François Coignet n'a pas appliqué le calcul à ces constructions mixtes, fer et béton, du moins il a eu l'intuition complète du parti que l'on pourrait en tirer en faisant lui-même un certain nombre d'applications.

Quelques années plus tard, M. Monier s'y attacha avec une grande persévérance surtout en vue de la construction de bassins portatifs, de tuyaux et de réservoirs.

A l'étranger, en Angleterre et en Amérique différents ingénieurs firent des essais pour la construction de poutres et de planchers, mais sans grande apparence de méthode.

Nous citerons les expériences de ce genre faites par M. *Hyatt.* Il construisit une plate-bande en béton *(fig. 1)* contenant à la

Fig. 1.

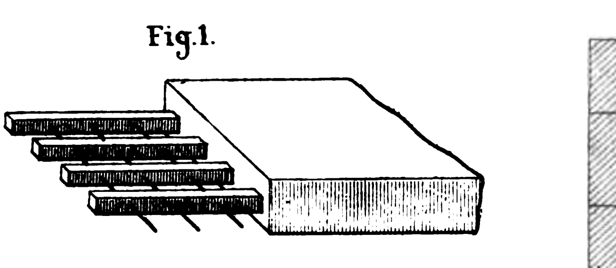
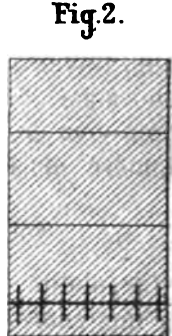


Fig. 2.

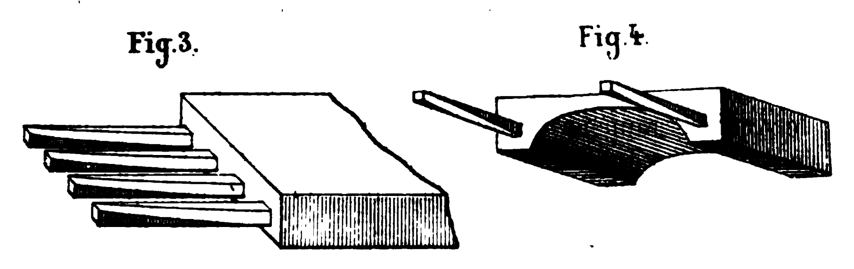


partie inférieure des lames verticales percées de trous. Dans ces trous étaient enfilés des fers ronds qui devaient avoir pour but d'empêcher les lames verticales de glisser dans le béton.

M. *Jackson* reprit cette expérience et construisit une poutre du même système qu'il soumit à des essais de flexion *(fig. 2).*

Enfin M. *Ransom*, ingénieur américain, reprit ces expériences; il fabriqua une plaque compacte de 0,15 *m* d'épaisseur renfermant à la partie inférieure des barres de fer carrées et tordues pour empêcher leur glissement *(fig. 3)*. Aux essais cette plaque périt par suite de l'écrasement du béton qui se détacha suivant deux prismes placés symétriquement par rapport à l'axe.

Ransom fit encore une autre expérience. Il établit une voûte



(fig. 4) de 4,88 *m* de portée. Dans les retombées de cette voûte, il plaça une barre longitudinale carrée et tordue, et il soumit cette voûte à des essais de flexion et de rupture.

Enfin, de nos jours un certain nombre de constructeurs ont étudié ces questions et s'y sont adonnés; en France, notamment, M. de Mazas, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, MM. Monier, Chassing, Bordenave, Cottancin, Dumesnil, Bonna, Borron; Hennebique, à Bruxelles, Wayss, en Autriche, etc., etc. Nous aurons l'occasion de parler dans le cours de cette étude des essais de résistance de M. Durand-Claye, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Mais on ne trouve nulle part une étude complète du mode de calcul à appliquer à ce genre de construction. Par sa nouveauté même, il échappe aux règles connues. Il s'agit, en effet, de constructions possédant tout à la fois une partie des qualités des maçonneries et une partie de celles des métaux. Le mortier de ciment et le fer ou l'acier entrent en combinaison de façons différentes entre eux et de plus chacun d'eux ne joue pas toujours le même rôle dans toutes les constructions où ils entrent, de sorte que pour chaque application, pour ainsi dire, il faut analyser les fonctions remplies par chacune des parties de ces corps hétérogènes et l'on conçoit qu'il y ait quelque difficulté à assigner à chacune le rôle réel qu'elle remplit. De plus, on s'explique aisément que ceux qui ont trouvé quelque chose sur ces questions nouvelles préfèrent conserver pour eux seuls les avan-

tages qui peuvent èn découler et ne pas en faire profiter leurs concurrents de leurs découvertes et de leur travail.

Avant d'exposer les résultats de nos expériences et de nos recherches, dont le commencement remonte à quatre ou cinq ans, nous rappellerons maintenant quelques-uns des avantages de ces combinaisons.

CHAPITRE II

Avantages des constructions en ciment.

Je voudrais rappeler en quelques mots les qualités de ce mode de construction qu'il tient de celles des matières qui le composent, et passer rapidement en revue les diverses objections que l'on a élevées à son égard.

Ce mode de construction consiste essentiellement à confectionner un quadrillage métallique composé rationnellement de barres de dimensions bien choisies et à noyer le tout dans du mortier de ciment dont la forme extérieure sera celle définitive de l'objet que l'on veut obtenir.

Légèreté. — Ces ouvrages mixtes remplacent avantageusement, dans des applications nombreuses, la maçonnerie proprement dite, à cause de la faible épaisseur de leurs parois et, par conséquent à cause de leur légèreté.

A résistance égale, l'ouvrage en ciment avec ossature métallique pèse infiniment moins, avantage d'une réelle importance quand on se trouve en présence d'un sol incapable de supporter de fortes pressions.

En dehors de la réduction notable du poids mort, la faible épaisseur de ces ouvrages permet de réaliser souvent des économies sérieuses sur les travaux accessoires, les terrassements par exemple, économies qui résultent de la moindre largeur de l'ouvrage ; s'il s'agit, en effet, d'une conduite ou d'une galerie enterrée à une certaine profondeur, le cube de la tranchée peut par ce fait diminuer considérablement.

Élasticité. — Les parois simples, ou même armées de nervures, sont élastiques. C'est souvent un très grand avantage. Elles peuvent supporter des pressions anormales en certains points et les transmettre moyennant une déformation passagère.

Cependant cette élasticité même peut quelquefois être un inconvénient, notamment quand on construit des voûtes, voûtes qui

n'ont pas de poids propre pouvant faire équilibre aux efforts provenant des terrassements par exemple. Il ne faut par perdre de vue en effet que, si la flexibilité permet des déformations n'amenant pas de rupture, elle facilite aussi des déplacements latéraux qui ne sont pas exempts de danger.

Nous pensons cependant que c'est là un inconvénient assez faible et qu'il peut y être obvié facilement dans des conditions économiques moyennant quelques précautions dans l'exécution des terrassements (précautions qu'il y a d'ailleurs lieu de prendre également avec les voûtes en maçonnerie) et quelques dispositions dans la construction même, comme nous le verrons quand nous parlerons des voûtes.

Imperméabilité. — Ces parois sont imperméables aux liquides au moins jusqu'à 2 ou 3 *atm* de pression. A cet égard la limite d'imperméabilité est celle du mortier de ciment. Celle-ci est en grande partie fonction du dosage employé, en supposant naturellement que le ciment soit de très bonne qualité. Il faut atteindre des dosages de 700 *k* à 800 *k* ; cependant on aura souvent avantage à employer des dosages plus faibles (400 ou 500 *k*) pour l'épaisseur de la paroi et à revêtir celle-ci d'un enduit avec un mortier d'un dosage beaucoup plus élevé.

Quoi qu'il en soit, cette imperméabilité n'existe pas tout d'abord ; elle ne se constitue que peu à peu, comme l'a fait remarquer M. Le Chatelier. En effet quand les ciments confectionnés à l'air (comme ils le sont généralement) sont plongés dans l'eau, ils en absorbent tout d'abord une certaine quantité qu'ils conservent dans la cristallisation des sels qui les composent ; de plus, la face qui est baignée par l'eau en laisse filtrer vers la face opposée une partie plus ou moins importante par les canaux de très faible section qui se trouvent dans le ciment. Dans ce mouvement lent à travers le ciment, l'eau se charge par dissolution de différents sels (chaux et carbonate de chaux) et les transporte ainsi mécaniquement vers la paroi extérieure. Cette eau se sature peu à peu, puis arrivant à la paroi extérieure s'évapore lentement et finit par déposer dans les pores de la partie extérieure les sels qu'elle avait entraînés, produisant ainsi en définitive le colmatage de la paroi de ciment.

Cette action, comme nous venons de l'indiquer, n'est que lente et progressive. C'est pourquoi l'on n'obtient pas du premier coup l'étanchéité des conduites soumises à de fortes pressions. D'un autre côté, on ne saurait reculer indéfiniment la limite d'imper-

méabilité. Pour des travaux qui sont exécutés dans la pratique courante, il ne faut pas dépasser une pression de 25 à 35 *m* d'eau.

Non-oxydabilité. — Comment se comporte le fer ou l'acier placé à l'intérieur de ces parois?

Ce fut et c'est encore là une des grandes objections que l'on fait à ce système. Pourtant il ne paraît pas y avoir de doute possible sur la non-oxydation du fer entouré de ciment. Bien plus, quoique l'on emploie dans ces constructions, du fer légèrement oxydé exposé comme il l'est, sur un chantier, à toutes les intempéries avant d'être mis en œuvre, il est très remarquable d'observer qu'au bout de très peu de temps, ce fer redevient bleu; il est comme décapé par le mortier de ciment. Que ceci soit simplement le résultat d'une action physique par suite de l'adhérence de la pellicule d'oxyde et du mortier qui entraînera ensuite avec lui cette pellicule, au moment où on l'arrache du fer, ou, ce qui évidemment serait bien préférable, que ce soit le résultat d'une action chimique déterminant la réduction de l'oxyde, il n'en n'est pas moins vrai que ce résultat est atteint et que l'action protectrice du mortier de ciment est indéniable.

Il peut cependant se produire une légère oxydation momentanée du fer ou de l'acier quand les parois se trouvent placées dans les conditions que nous venons d'examiner, savoir une face soumise à la pression de l'eau. Il y aura alors un léger transport de cet oxyde par l'eau, en même temps que celui des sels que nous avons mentionné. Mais cette action est tout à fait momentanée, et par conséquent cet inconvénient disparaîtra avec elle d'une façon complète.

Adhérence. — Il a été fait souvent une autre objection aux constructions en ciment avec ossature métallique; ce serait la non-adhérence du mortier de ciment avec le métal; on prétendrait que par suite des efforts répétés que la construction supporte, le mortier de ciment finirait par se détacher du fer et amènerait ainsi à la longue la ruine de ces ouvrages. Or, comme nous le verrons plus loin d'une façon détaillée, cette crainte doit être complètement bannie. Non seulement l'adhérence du mortier et du métal est suffisante pour qu'on n'ait pas à redouter une pareille éventualité, mais encore elle est telle (nous pensons que nos expériences auront mis ce fait en pleine lumière), qu'elle est au contraire la principale cause de la résistance tout à fait imprévue de cette nature de construction.

Dilatation. — Une seule cause aurait pu faire disparaître cette adhérence, c'eût été la différence des coefficients de dilatation des deux matières. Or ils sont tout à fait voisins l'un de l'autre, comme il résulte des expériences de M. Durand-Claye. Le coefficient de dilatation du fer varie entre. . . 0,0000130 à 0,0000148 et celui du ciment est de. . . . . 0,0000135 par mètre et par degré ; on voit donc que l'on peut les considérer comme étant les mêmes.

Résistance au feu. — Enfin, nous dirons quelques mots d'un des très grands avantages de l'application à la construction de l'ossature métallique et du ciment ; c'est la façon dont ces matériaux se comportent en cas d'incendie.

En effet, si le fer est incombustible, il a cet inconvénient grave que par suite de sa grande conductibilité, les pièces maîtresses en charpentes métalliques, léchées par les flammes, prennent presque instantanément dans toute leur étendue une température très élevée ; il en résulte d'abord que, considérablement dilatées, elles disloquent et renversent les murs ; et ensuite que leur résistance se trouvant diminuée de beaucoup, elles peuvent entraîner l'effondrement général de la construction.

Ces effets désastreux ne sont pas à craindre avec le ciment. Nous rappellerons tout d'abord les expériences comparatives faites à Munich par M. le professeur Bauschinger sur la résistance au feu de diverses colonnes en calcaire, en granit et en béton. Les colonnes en calcaire se calcinaient ; celles de granit éclataient sous l'action de l'eau projetée ; seules, les colonnes en béton ont résisté d'une façon satisfaisante, tant à l'action du feu qu'à celle de l'eau. On sait d'autre part que les Américains qui ont extraordinairement développé la construction métallique des maisons à douze, quinze et vingt étages, enveloppent complètement de poteries toutes les pièces principales de la construction.

Nous nous trouvons dans de meilleures conditions encore puisque le ciment entoure le métal d'une gaine adhérente. Les flammes lèchent le ciment, qui n'étant pas bon conducteur de la chaleur, ne transmet celle-ci au métal que très lentement. Celui-ci, complètement entouré, ne peut prendre que la température même de la gaine dont il ne fait que suivre les mouvements sans pouvoir les devancer. Il ne peut donc pas prendre subitement ces élévations de température qui, dans les cas ordinaires, lui font renverser les murs.

La résistance du mortier de ciment n'étant pas sensiblement altérée par la température qu'il atteint, et d'un autre côté le métal ne subissant pas une élévation de température suffisante pour que sa force de résistance soit de beaucoup amoindrie, les pièces travaillant à la flexion ne perdent pas leur rigidité.

Souplesse. — Enfin, il est une autre qualité dont nous n'avons presque rien dit. C'est la souplesse même et la docilité avec laquelle le ciment prend toutes les formes imaginables, qualité dont l'architecte et l'ingénieur pourront tirer un bon parti.

Cette ossature est taillable et malléable à merci; elle monte, descend à volonté, elle va à droite ou à gauche, se plie, se replie, ondule et serpente suivant tous les caprices, et derrière elle il suffit que se montre ce maçon providentiel, fin de siècle, le cimentier, qui vienne mettre en œuvre l'admirable découverte de Vicat, pour que le tout se fige dans la forme voulue et métamorphose ces matières ténues, le fil de fer, le grain de sable et la poussière du ciment, en une construction qui pourra braver impunément, pensons-nous, l'action destructive des siècles futurs.

CHAPITRE III

Choix des matériaux.

Après avoir ainsi résumé les qualités des constructions en ciment avec ossature métallique, et avant d'aborder les questions relatives aux modes de calcul à leur appliquer, nous allons dire quelques mots des matériaux qu'il y a lieu de mettre en œuvre.

Sable. — Le sable le meilleur est celui qui est le meilleur pour la maçonnerie : propre, à grains anguleux, criant dans la main, plutôt un peu fin, notamment pour la construction des tuyaux.

Ciments. — En ce qui concerne la qualité du ciment, il est évident que c'est celui offrant la plus grande résistance aux agents atmosphériques, air ou eau, ainsi qu'à la traction et à la compression, qu'il faut employer.

A cet égard, si l'on compare les résultats donnés par les ciments de Portland, à prise plus ou moins lente, les ciments dits rapides ou prompts à contenance élevée d'argile, spécialement d'alumine, et les ciments de laitier, nous n'hésitons pas à dire que la préférence doit être donnée aux premiers.

Les ciments de laitier n'ont pas encore derrière eux un passé suffisamment long pour qu'on puisse porter sur eux un jugement définitif pour cet emploi ; mais ils présentent un très grand inconvénient, c'est qu'en parois minces, notamment, leur dessiccation est beaucoup trop rapide, ce qui arrête presque complètement leur durcissement. Pour obtenir ce dernier dans de bonnes conditions il faudrait les maintenir plongés dans l'eau pendant au moins huit jours, et s'il s'agit d'une fabrication importante, soit seulement une centaine de mètres de tuyaux linéaires par jour, on voit de quels bassins pleins d'eau il faudrait pouvoir disposer. Bref, ces ciments, se comportant beaucoup moins bien à l'air libre que dans l'eau, ne valent pas par suite les ciments de Portland. Ils doivent donc être écartés pour un grand nombre d'applications.

Si nous passons aux ciments à prise rapide, nous devons constater que leurs résistances à la compression et à l'arrachement, plus élevées que celles du ciment de Portland, pendant un ou deux jours, sont, au contraire, bien inférieures au bout de ee court laps de temps. Les courbes de leurs résistances sont souvent bizarres, présentant des chutes inexplicables, même profondes, correspondant à de véritables ramollissements.

Ce sont des ciments naturels dont la composition est variable et inégale, puisqu'elle ne peut pas être suivie et rectifiée en cours de fabrication comme celle des ciments de Portland.

A cause de la rapidité de leur prise les mortiers ne peuvent être faits qu'à la main et non mécaniquement, ce que nous considérons comme une infériorité extrêmement importante. En outre, ils doivent être gâchés très liquides, nouvelle cause d'infériorité.

Ces ciments ne nous paraissent donc présenter, par rapport aux ciments de Portland aucune supériorité en ce qui concerne tout au moins la bonne qualité des produits à obtenir. Il n'est qu'un avantage qui ne nous paraît pas suffisant, c'est celui de diminuer le nombre des moules nécessaires et, par conséquent, les frais de premier établissement ; mais cette diminution de dépenses n'est possible qu'en sacrifiant la qualité des produits fabriqués ; nous ne saurions donc l'admettre.

En définitive, nous pensons que les ciments à adopter sont ceux dits de Portland, ils seront plus faciles à employer s'ils ne sont pas à prise trop lente.

Les mortiers devront être fabriqués mécaniquement, ce qui sera surtout important avec des sables un peu fins ou avec des dosages un peu maigres.

Les dosages à admettre varieront avec le but recherché. Ils ne seront pas inférieurs à 400 ou 450 *kg* par mètre cube de sable pour les voûtes, les planchers épais ou les parois non en contact direct avec l'eau.

Le dosage devra s'élever jusqu'à 700 ou 800 *kg* par mètre cube de sable pour les parois minces comme celles des tuyaux sous pression non revêtus d'un enduit.

La mesure à garder à cet égard dépend des circonstances, mais il ne faut pas oublier qu'en définitive le prix du ciment employé n'est pas important par rapport au prix total de l'ouvrage terminé et qu'il ne faut pas vouloir de ce chef faire des économies.

Métal. — En ce qui concerne le métal, nous pensons que la différence de prix entre l'acier et le fer est assez petite pour pouvoir donner sans hésitation la préférence au premier. En dehors de sa résistance plus grande, de sa moindre malléabilité, il est plutôt moins oxydable que le fer. Nous verrons plus loin que théoriquement l'acier dur conviendrait mieux à la nature de construction dont il s'agit. Cependant nous donnerons la préférence à l'acier doux à cause de sa composition peut-être plus régulière et en tout cas plus commerciale, et en fait à la sécurité plus grande qu'il offre par suite de l'écart qui existe entre sa limite d'élasticité et sa rupture.

Pour les attaches ayant pour objet d'établir la solidarité entre le métal travaillant à l'extension et le ciment travaillant à la compression, et pour les ligatures des treillis nous employons le fil de fer recuit. Ces ligatures n'ont d'autre rôle que d'assurer provisoirement l'indéformabilité du treillis aussi longtemps que ce dernier n'a pas fait prise ; leur mode d'attache, pas plus que le mode de maillonnage lui-même, ne nous semblent pas avoir d'importance.

Influence de la forme des fers. — Nous allons examiner maintenant si le profil du métal employé joue un rôle important. Nous ne le pensons pas. Selon nous sa résistance ne dépend que de sa section.

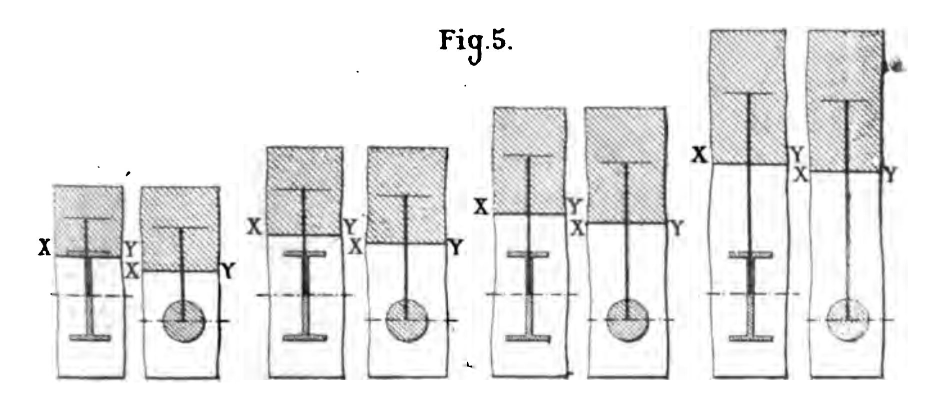
En ce qui concerne les ouvrages travaillant à l'extension ou à la compression, c'est évident par soi-même. Nous en verrons, du reste, l'application au fur et à mesure que nous étudierons les ouvrages rentrant dans ces deux catégories.

En ce qui concerne les solides travaillant à la flexion, permettez-nous de vous rappeler l'opinion émise devant vous à notre séance du 1er mars 1889 dans les termes suivants, par M. Ed. Coignet :

« Le fer résistant à l'extension et le béton à la compression, on constitue par la combinaison des deux matières un ensemble *homogène* (1) dans d'excellentes conditions. Il est, néanmoins, nécessaire que l'épaisseur soit assez considérable afin qu'il y ait une certaine distance entre les fibres résistant à la compression et les fibres résistant à l'extension.

Nous démontrerons à son heure que ce principe, passé à l'état d'axiome pour les semelles de même nature d'un solide travaillant à la flexion, est tout aussi vrai pour un solide à semelles constituées chacune par une matière différente ; ce serait empiéter sur les modes de calcul que d'en donner actuellement la démonstration. Pour le moment il suffit de se reporter à la *figure 29* pour saisir, d'une part, la valeur croissante des modules de résistance, au fur et à mesure que s'accroît la distance *h*, et ce, quel que soit le profil ; d'autre part, que le fer rond donne toujours un module de résistance plus élevé que le fer à double T, si les deux fers sont placés dans le ciment dans les mêmes conditions, c'est-à-dire la fibre inférieure du métal à la même distance de la paroi extérieure du ciment qui protège le métal de ce côté. Ceci provient en peu de mots de ce que le facteur principal de résistance est cette distance *h* entre les centres de gravité des deux semelles et que cette distance est plus grande avec le fer rond qu'avec le fer à double T (voir *fig. 5*). Il est intéressant à noter que ce n'est pas le métal seul

Fig. 5.



qui bénéficie de cette forme, mais le ciment comprimé lui-même dans les solides de peu de hauteur, comme les dalles, attendu que l'axe des fibres neutres se trouve sensiblement plus éloigné

(1) Nous entendions par le mot *homogène* un solide dont toutes les parties sont solidaires les unes des autres.

de la semelle comprimée, avec l'emploi des fers ronds qu'avec celui des fers à T.

Il résulte de cette comparaison qu'il faudrait placer le fer profilé non de champ, mais à plat, pour obtenir le maximum de résistance, mais alors il vaudrait mieux employer un fer plat qui donnerait encore davantage, puisque toutes choses égales, la distance *h* serait encore plus grande.

L'infériorité du fer profilé au point de vue de son module de résistance étant ainsi admise, il y aurait lieu de rechercher si ce dernier ne présente pas certains avantages à un autre point de vue, dont ses promoteurs ne se sont pas rendu compte, semble-t-il, nous voulons parler de l'adhérence dont l'importance dans les constructions en ciment avec ossature métallique est considérable.

Dans l'exemple qui sert de base à la démonstration précitée, la circonférence du fer rond est de 33 *mm*, tandis que le périmètre du double T de section équivalente est de 84 *mm*, soit plus du double, presque le triple.

Si donc on pouvait réaliser le contact du ciment et du fer profilé sur tout son périmètre, celui-ci serait avantageux sous ce rapport, et cet avantage pourrait alors contre-balancer, peut-être, son infériorité au point de vue du module de résistance.

Fig. 6

Mais, en réalité, il nous paraît difficile d'assurer complètement l'adhérence du ciment sur toute la surface du fer. En effet, dans le cas d'un tuyau coulé debout (*fig. 6*), par exemple, on voit que l'espace compris entre la ligne AB et l'âme du fer, restera plus ou moins plein d'air quand la coulée atteindra la ligne AB, et on comprend sans peine que si la surface d'adhérence est ainsi diminuée, ce vide a cet autre inconvénient très grand de ne pas protéger le fer contre l'oxydation, et, de plus, d'offrir une ligne de résistance moins grande pour le passage de l'eau sous pression à travers la paroi.

On voit donc, par ce qui précède, que l'emploi des fers profilés ne paraît offrir dans les constructions terminées aucun avantage technique. Il offre, en revanche, cet inconvénient très grand,

qu'à poids égal il est d'un prix très sensiblement plus élevé et d'un travail plus difficile, puisqu'alors son moment d'inertie propre devient jusqu'à un certain point un inconvénient.

Le fer profilé ne présente qu'un avantage relatif, c'est la résistance intrinsèque que le treillis métallique offre quand il est terminé et qu'il n'est pas encore recouvert de ciment. Il peut être quelquefois nécessaire de prendre à cet effet quelques précautions avec le fer rond, c'est ainsi que nous obtenons la rigidité de l'ossature par une disposition spéciale qui consiste à enrouler en diagonale, sur le treillis métallique d'un tuyau, quelques fils de 2 *mm* de diamètre. Ces fils supplémentaires, très légers, assurent au treillis métallique une résistance considérable. Nous avons fait de même à Achères pour le tuyau de 3 *m* de diamètre dont nous parlerons plus loin, en plaçant tous les 2 *m* une directrice d'un diamètre deux fois plus fort que celui des génératrices courantes, laquelle donne le raide voulu et sert de guide pour placer convenablement les autres.

Nous venons de dire qu'à la rigueur des fers plats seraient, dans certaines circonstances, meilleurs dans la construction que tout autre profil au point de vue du module de résistance.

Cependant, les fers ronds dédoublés regagneraient leur infériorité sur les fers plats relativement à la plus grande valeur de h, et sur les profilés, relativement à l'adhérence.

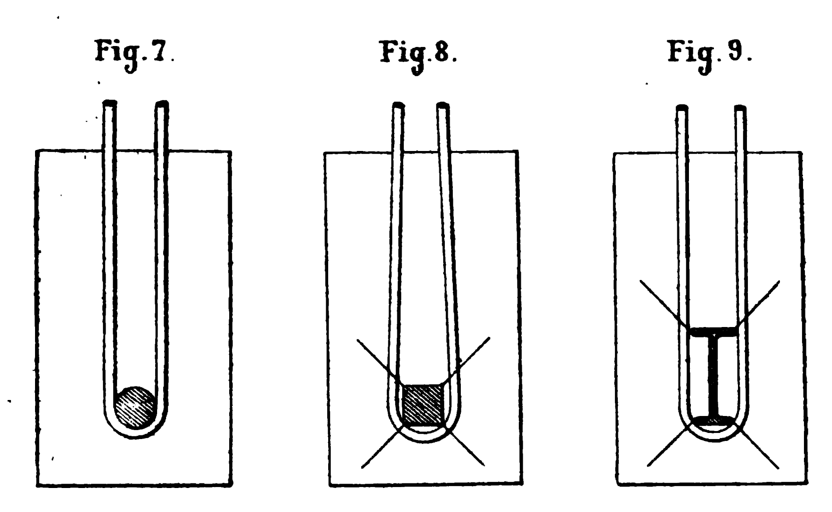
Bref, les fers ronds nous paraissent présenter sur les autres les avantages suivants : Ils sont plus homogènes, n'ont pas d'arêtes capables de couper le ciment et les attaches métalliques ; ils sont plus réguliers de fabrication ; ils sont plus faciles à travailler.

Ils déterminent par leur forme même dans le ciment des vides qui réalisent le minimum d'affaiblissement possible pour cette matière. Enfin, les flexions répétées que supporteraient les pièces contenant des fers ronds tendront beaucoup moins à produire une séparation entre les deux matières, les arêtes pouvant déterminer des lignes probables de fissure (*fig. 7, 8 et 9*). Ils opposent le minimum de résistance au dégagement des bulles d'air qui tendent à rester prisonnières dans le ciment et qu'il faut chasser autant que possible.

Enfin, si nous considérons un certain nombre d'applications, notamment les poutrelles des planchers où les attaches ont 3, 4 et 5 *mm* de diamètre, nous voyons avec la dernière évidence (*fig. 7, 8 et 9*) que la forme circulaire est la meilleure pour assurer le contact parfait de ces attaches qui, dans le cas que nous

mentionnons, sont des pièces d'une grande importance et dont il faut, par suite, ménager la fatigue.

Nous conclurons donc de tout ce qui précède, qu'à part quelques exceptions, les barres d'acier rond doivent être employées pour la confection de l'ossature métallique, les fers spéciaux devant être réservés pour certains cas particuliers.



Les matériaux qui doivent être mis en œuvre étant ainsi définis, nous allons passer en revue les résultats que nous avons obtenus par nos diverses expériences, indiquer les modes de calcul que nous avons adoptés pour ces ouvrages et l'importance de certains facteurs dont on avait constaté l'existence par l'anormalité des résultats donnés, mais qu'on n'avait pas réussi jusqu'ici à mettre en évidence, Ces facteurs apportent à ces ouvrages une marge de sécurité considérable et leur donnent une rigidité cinq à six fois plus grande qu'aux ouvrages métalliques, ce terme étant entendu dans son acception technique, c'est-à-dire le rapport entre la charge portée et la flèche subie.

De quelque ouvrage qu'il s'agisse, il doit appartenir à l'un des trois groupes suivants :

I. — Solides travaillant à l'extension (tuyaux à pression intérieure, réservoirs d'eau ou gazomètres, silos, etc.).

II. — Solides travaillant à la compression (tuyaux ou voûtes à compression intérieure, etc.).

III. — Solides travaillant à la flexion (planchers, toitures, dalles, murs de soutènement, etc.).

CHAPITRE IV

Solides travaillant à l'extension.

Maintenant que nous connaissons les matières à employer et leurs formes, nous allons examiner les différents groupes de solides dont nous avons parlé :

Dans le premier groupe « solides travaillant à l'extension », les tuyaux sont les plus importants.

Tuyaux. — Ceux-ci sont constitués par des spires ou directrices extérieures sur lesquelles reposent les génératrices *(fig. 10)*.

Directrices. — Le calcul des tuyaux est très simple. Dans le cas d'une pression intérieure p par mètre superficiel, l'effort total transmis à chaque moitié de directrice est pD ; on doit prendre pour D, le diamètre intérieur du tuyau et non pas celui qui répond à la directrice, car la pression que celle-ci supporte est celle que supporte la circonférence intérieure du ciment que ce dernier ne fait que transmettre intégralement à la directrice. Si donc nous appelons M la section cumulée des directrices réparties sur 1 *m* de longueur, la résistance à l'extension de ces dernières qui opposent chacune deux sections à cet effort sera : 2MR ; et de l'égalité $pD = 2MR$, on tire :

$$M = \frac{pD}{2R}.$$

Fig.10

Cette formule suppose que la pression est uniforme dans le tuyau ; elle ne peut pas être considérée comme telle si le diamètre du tuyau est grand par rapport à la hauteur d'eau qui représente sa pression.

Si les directrices étaient contiguës et de section rectangulaire au lieu de circulaire, M représenterait l'épaisseur d'une tôle continue de même poids que l'ensemble des directrices ; il en résulte donc que l'on a tout droit de se demander l'avantage que peuvent présenter les tuyaux en ciment avec ossature métallique, puisque dans l'un ou l'autre cas la quantité théorique de métal est la même.

Comparaison économique avec les tuyaux en tôle. — L'avantage est réel, cependant; d'une part, l'acier rond employé est bien meilleur marché que la tôle mince; d'un autre côté, en réalité, la quantité de métal est au moins quatre fois plus grande dans les tuyaux en tôle que dans les tuyaux en ciment, par suite de la constante de 2,5 *mm* que l'on ajoute à l'épaisseur théorique des tuyaux en tôle pour tenir compte de certains facteurs pratiques, et, notamment, de la diminution éventuelle d'épaisseur prévue en vue d'une oxydation plus ou moins rapide. Or, la valeur de cette constante est pour les faibles pressions qui nous occupent, beaucoup plus grande que l'épaisseur théorique qui serait strictement nécessaire pour résister à la pression.

C'est ainsi que, pour un tuyau métallique de 1 *m* de diamètre devant supporter une pression de 15 *m* d'eau, la section indiquée par la formule précédente serait . . . . M = 625 mm^2 (si l'on convient de faire travailler l'acier à 12 *kg* par mètre carré).

Pour l'ossature métallique, nous avons à ajouter la section cumulée des génératrices qui s'élève à . . . . . . 137 mm^2 dans le cas qui nous occupe.

Nous avons donc un total de . . . . 762 mm^2

Nous ne tenons pas compte de l'excédent de métal occasionné par l'assemblage des boucles, les contreventements, les bagues de joints placés tous les 3 *m* ou tous les 4 *m*. De même dans les tuyaux en tôle, nous omettrons les recouvrements, les rivets et les brides de joints. Et nous ferons remarquer que s'il s'agit de conduites de fort diamètre, la construction de l'ossature est faite sur place sans solutions de continuité, ce qui permet de réaliser de ce chef une économie d'une certaine importance que ne peuvent offrir les conduites en tôle.

Nous avons donc trouvé . . . . 762 mm^2 pour l'ossature métallique d'un tuyau de 1 *m*. Le même, en tôle, exigerait d'abord les mêmes . . . . 625 mm^2 plus, la constante susmentionnée de 2,5 *mm*, soit. . . 2 500 mm^2

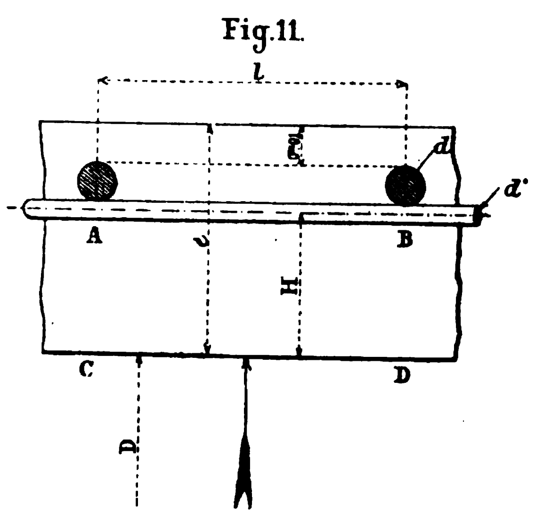
Soit un total de métal de . . . . 3 125 mm^2

Le rapport des quantités de métal ressort donc à 4,1, c'est-à-dire que l'ossature métallique emploie largement quatre fois moins de métal, et ceci en supposant encore que l'on consente à faire

travailler la tôle à 12 *kg*, comme l'ossature, tandis qu'on ne dépasse pas 8 *kg*, parce que l'on n'a plus les mêmes raisons d'adopter un coefficient de travail aussi élevé.

Génératrices. — Faisons maintenant le calcul des génératrices.

Pour déterminer la section de ces dernières (*fig. 11*), nous considérons la partie ABCD comme constituée par une génératrice AB comprise entre deux directrices et toute la partie correspondante du ciment qui se trouve entre cette génératrice et la face intérieure du tuyau.



Nous nous trouvons en présence d'une petite dalle en ciment avec ossature métallique reposant sur deux appuis (les directrices) distants de *l* et soumise à une pression qui a pour effet de faire travailler la partie intérieure du ciment à la compression et la génératrice à l'extension.

Or, le calcul des dalles que nous verrons plus loin nous donne la hauteur nécessaire H que doit avoir cet élément de dalle, et la section de la génératrice pour résister au moment des forces extérieures.

Anticipant sur ces calculs, nous n'en donnerons que les résultats :

$$H = \sqrt{\frac{\mu}{6,4}},$$

$$M' = \frac{2}{3} H,$$

(H étant exprimé en centimètres, M' en centimètres carrés et μ en kilogrammètres.)

Nous ferons remarquer que ce mode de calcul détermine non seulement les directrices et les génératrices, mais aussi l'épaisseur du tuyau. Car, pour donner le plus de résistance possible à ces petites dalles, il convient de laisser à H la plus grande valeur

possible, et, à cet effet, de donner au ciment qui recouvre extérieurement les directrices le minimum d'épaisseur. Si nous fixons ce minimum à 1 *cm*, l'épaisseur du tuyau, qui se compose de $H + 1 + d + \frac{d'}{2}$ (d, diamètre des directrices; d', diamètre des génératrices), cette épaisseur, disons-nous, sera déterminée.

Ce que nous avons dit plus haut pour la flexion montre que, pour ce qui concerne les génératrices, les fers ronds sont ceux qui donnent le plus de résistance, à section égale ; pour ce qui concerne les directrices, la section seule du fer importe ; on voit que les fers profilés sont, somme toute, moins avantageux que les fers ronds, et d'autant plus que la grande hauteur relative de la directrice diminue d'autant l'épaisseur de la dalle théorique déjà diminuée par la génératrice de même profil.

Ce mode de calcul, appliqué à un grand nombre de tuyaux divers, nous a montré que le volume du ciment se trouvait compris entre 100 fois et 200 fois le volume des directrices.

Paradoxe. — Cette observation a son intérêt pour répondre au paradoxe suivant, qui se pose pour les tuyaux en ossature métallique.

Dès qu'il y a pression, le fer doit travailler et, par suite, s'allonger. S'il s'allonge, le cylindre intérieur de ciment qui s'appuie sur lui doit se fissurer longitudinalement ; or, il ne se fissure pas; c'est donc que le fer ne se serait pas allongé ; ne s'étant pas allongé, c'est qu'il n'a pas travaillé, — et alors, que se passe-t-il ?

Voici, croyons-nous, l'explication de cette apparence de paradoxe.

Si le métal travaillait réellement à 12 *kg* par millimètre carré, ou 1 200 *kg* par centimètre carré, ses allongements ne pourraient être partagés sans fissure par le ciment, qui, par suite de sa grande adhérence avec le fer et de sa disposition même autour de ce dernier, est obligé de s'allonger simultanément de quantités égales. Mais, en réalité, il travaille beaucoup moins. En effet, la résistance du ciment à l'extension n'est nullement négligeable; le ciment peut subir des efforts de 12 *kg* par centimètre carré et même bien davantage sans manifester aucune fissure. Or, dans les tuyaux en ossature, la section du ciment est au moins, avonsnous dit, 100 fois celle du métal. Si donc on admet que le ciment travaille 100 fois moins que le métal, comme il est 100 fois plus abondant, il peut se charger sans fatigue de la moitié des résistances. Il en résulte que les allongements du métal sont réduits

dans la proportion correspondante et n'atteignent pas ceux que le ciment ne saurait éprouver sans se fissurer.

En définitive, on sait qu'en calculant le métal de nos tuyaux comme nous venons de le dire, et en adoptant le coefficient de 12 *kg* par millimètre carré pour l'acier, il n'est qu'une expression et non la réalité, le métal travaillant beaucoup moins.

Mais la section du ciment est égale à H, plus une constante relativement faible, et $H = \sqrt{\frac{\mu}{6,4}} = \sqrt{\frac{pl^2}{51,2}}$ est proportionnel à $\sqrt{p}$ et indépendant du diamètre; tandis que M, multiple de la section des directrices, est proportionnel à p et à D. Il en résulte que, surtout pour les grands diamètres, la section des directrices augmente beaucoup plus vite que l'épaisseur du ciment.

Nous pensons donc que, si l'on peut prendre, dans le calcul des directrices, le coefficient de 15 *kg* pour les tuyaux d'un diamètre inférieur à 1 *m*, il ne faut pas dépasser celui de 12 *kg* pour les diamètres supérieurs à 1 *m*. En réalité, dans ces deux cas, l'acier travaillera au maximum de 6 à 8 *kg*.

En ce qui concerne les génératrices, nous verrons plus loin, en traitant de la flexion, que les coefficients apparents de 12 et 15 *kg* peuvent être adoptés sans hésitation.

Réservoirs cylindriques.

Les constructions les plus importantes du même groupe, après les tuyaux, sont les réservoirs cylindriques.

Les réservoirs ne sont autre chose que des tuyaux de grand diamètre, à pression constante, s'ils sont destinés à contenir des gaz; à pressions variables, s'ils sont destinés à contenir des liquides.

Les réservoirs de liquides diffèrent donc seuls des tuyaux et méritent, par suite, une mention spéciale.

Calcul des directrices. — Considérons un réservoir dont le diamètre intérieur est D et la hauteur H.

Si l'ossature était constituée par une tôle continue d'égale résistance, l'épaisseur de cette tôle à une hauteur y à partir du sommet du réservoir, correspondant à une pression 1 000 y, serait :

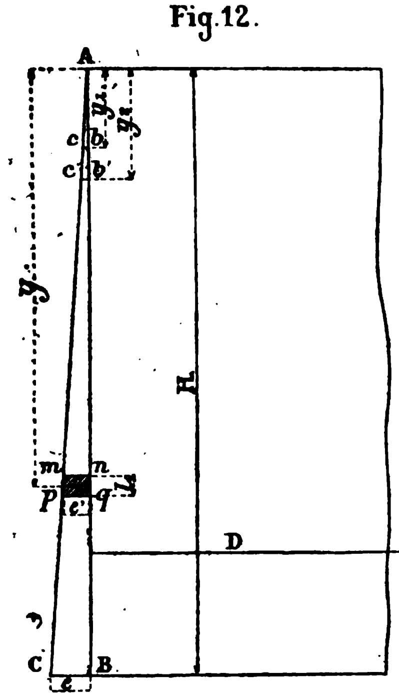
$$e_y = \frac{1\,000\,y \times D}{2R}$$

d'après la formule du tuyau.

On voit que cette épaisseur est proportionnelle à y; nulle au sommet, son maximum à la base est :

$$e = \frac{1\,000\,\mathrm{H} \times \mathrm{D}}{2\mathrm{R}} \qquad (1)$$

La section de ce réservoir serait donc figurée par un triangle rectangle ABC de hauteur AB = H et de base BC = e, donnée par l'expression (1) (*fig. 12*).



Si l'on veut remplacer l'élément *mnpq* de hauteur l et de largeur e', par la section d'une directrice, la valeur s de cette section sera donnée par l'équation :

$$e'l = s \qquad (2)$$

mais, comme $\frac{e'}{e} = \frac{y}{\mathrm{H}}$,

d'où : $e' = \frac{ey}{\mathrm{H}}$,

on aura : $l = \frac{s\mathrm{H}}{ey} \qquad (3)$

Ce qui montre que, si l'on veut employer des directrices de même diamètre, il faut les répartir suivant des intervalles inversement proportionnels aux profondeurs y auxquelles elles sont placées.

Pour avoir des écartements égaux, au contraire, c'est la section s qui devrait varier proportionnellement à ces profondeurs; mais ce mode de construction ne serait pas pratique.

Supposons donc que l'on se soit donné la section s des directrices, d'après des réservoirs déjà calculés et de dimensions approchantes, et déterminons la loi de décroissance des espacements des directrices.

La première directrice, située à la profondeur y_1, doit remplacer le triangle Abc; on doit donc avoir :

$$s = \frac{1}{2} y_1 e_1$$

et comme $\frac{e_1}{y_1} = \frac{e}{\mathrm{H}}$,

$$s = \frac{1}{2} y_1^2 \times \frac{e}{\mathrm{H}}, \qquad \text{d'où} \qquad \ldots\ldots\ y_1^2 = 2s\frac{\mathrm{H}}{e} \times 1$$

De même pour les deux premières directrices, la somme $2s$ de leur section est équivalente au triangle $Ab'e'$; on aura :

$$2s = \frac{1}{2} y_2 e_2,$$

et comme $\frac{e_2}{y_2} = \frac{e}{H}$,

$$2s = \frac{1}{2} y_2^2 \times \frac{e}{H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad y_2^2 = 2s\frac{H}{e} \times 2$$

On trouverait de même .... $y_3^2 = 2s\frac{H}{e} \times 3$

....

$$H^2 = \ldots\ldots \quad y_N^2 = 2s\frac{H}{e} \times N$$

N représentant le nombre de directrices réparties sur toute la hauteur H. De cet exposé, il résulte :

1° Que le nombre N de directrices, relatif à la hauteur totale H, est exprimé par :

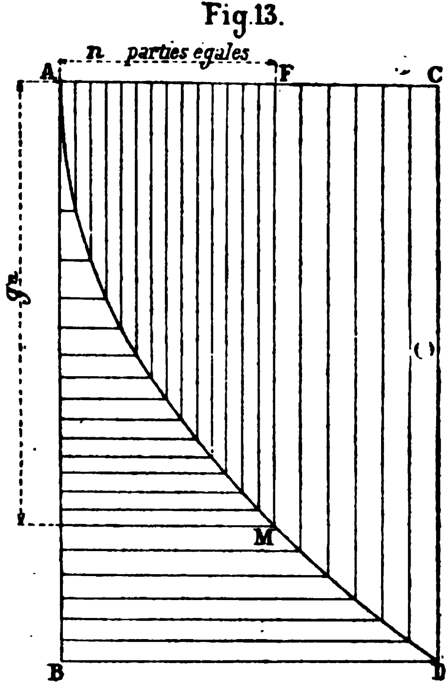
$$N = \frac{He}{2s} \qquad (4)$$

(valeur déduite de la dernière équation ci-dessus).

2° Que les ordonnées des positions des directrices, ou leurs profondeurs sont les ordonnées d'une parabole rapportée à son sommet, puisque les carrés de ces profondeurs sont proportionnels aux abscisses 1.2.3...N.

On tracera donc l'emplacement des directrices en inscrivant dans un rectangle ABCD, de hauteur AB = H et de base AC quelconque, une parabole AMD. Si l'on divise ensuite AC en N parties égales (N étant le nombre de directrices donné par la formule (4)), les ordonnées élevées au droit de chacune de ces divisions détermineront, d'après la construction indiquée *(fig. 13)*, l'emplacement des directrices.

Fig. 13.



Pour peu que le cylindre ait une assez grande hauteur, il arrivera que les directrices se rapprocheront trop à partir d'une profondeur y_n correspondant à l'abscisse n = AF.

Il y a donc lieu d'augmenter la section s à partir de cette profondeur et de la porter à S. Mais alors, le nombre N' donné par l'équation (4) serait de :

$$N' = \frac{He}{2S}$$

pour tout le cylindre, tandis qu'on a trouvé :

$$N = \frac{He}{2s}$$

pour la section primitive.

Le rapport $\frac{N'}{N}$ est donc égal à $\frac{s}{S}$.

Et, par suite, au lieu du nombre $(N - n)$ qu'il reste à placer, ce n'est plus que $(N - n)\frac{s}{S}$ qu'il y a lieu de prévoir; et tel est le nombre de divisions qui concerne la partie FC. Ce nombre de divisions remplaçant les anciennes, le tracé se poursuit comme précédemment.

Si, à partir d'une nouvelle profondeur y', les intervalles deviennent encore trop rapprochés, on prendra une section encore plus grande pour la zone suivante et ainsi de suite.

Par contre, si, au sommet, les écartements sont trop grands (bien que l'on n'ait pas pris une section initiale s trop petite), on intercalera après coup des directrices de section plus faible, qui n'ont d'autre objet que de réduire des écartements trop grands, pour des raisons pratiques.

Calcul des génératrices. — Les génératrices se calculent comme dans les tuyaux, c'est-à-dire comme des dalles reposant sur les directrices.

Si l représente l'écartement de deux directrices quelconques, P la pression relative à la zone comprise entre ces dernières, sur 1 m de développement, ces dalles seront calculées pour résister à un moment :

$$\mu = \frac{Pl}{8}.$$

Or, la pression P est égale à 1 000 yl, et si l'on remplace l par la valeur $\frac{sH}{ey}$ donnée par l'équation (3).

$$P = 1\,000\,y \times \frac{sH}{ey} = 1\,000\,\frac{sH}{e}.$$

La pression P est donc constante, bien que la pression p par unité de surface soit variable, et ce, parce que nous avons fait précisément varier l pour qu'il en soit ainsi.

Mais le moment μ a pour valeur :

$$\mu = 1\,000 \frac{sH}{e} \times \frac{1}{8} \frac{sH}{ey} = \frac{125}{y} \frac{s^2H^2}{e^2}.$$

Le moment μ est donc proportionnel au carré de la section des directrices et inversement proportionnel à la profondeur.

Il en résulte qu'il y a lieu de prendre, pour le calcul des génératrices, la section s des directrices qui s'y rapportent et l'écartement qui correspond aux deux premières directrices de cette zone, ou mieux le plus grand écartement de cette zone ; si l'on fixe, en pratique d'une façon générale le plus grand écartement à 0,10 m, on aura :

$$\mu = 12{,}5 \frac{s^2H^2}{e^2} \qquad (5)$$

Réservoirs sphériques.

Soit un réservoir sphérique de diamètre D et soumis à une pression H, uniforme.

Fig. 14.

Il peut se rompre soit suivant un grand cercle, soit suivant un petit ; dans les deux cas, la résistance à l'arrachement est la même.

Dans le cas d'un grand cercle, la force est représentée par $\frac{\pi D^2}{4} \times 1\,000$ H, et la résistance par $\pi D e R$, e étant l'épaisseur de la tôle et R la tension du métal. De l'équilibre de ces deux forces résulte *(fig. 14)* :

$$e = \frac{1\,000\,HD}{4R}$$

dans le cas d'un petit cercle de diamètre d. La force normale à ce petit cercle a pour valeur $\frac{\pi d^2}{4} \times 1\,000$H, et projetée suivant la tangente, elle a pour mesure :

$$\frac{\pi d^2}{4} \times 1\,000H \times \frac{D}{d} = \frac{\pi d}{4} \times 1\,000HD.$$

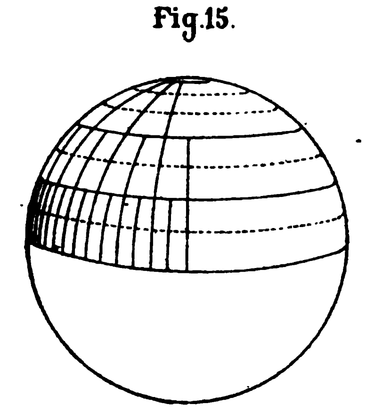
La résistance tangentielle a pour mesure : $\pi de R$,
Pour qu'il y ait équilibre il faut donc que l'on ait encore :

$$e = \frac{1\,000HD}{4R}.$$

Il en résulte que le calcul est le même, qu'il s'agisse d'une sphère ou d'une calotte sphérique.

Si l'on veut remplacer la tôle continue par une série d'anneaux diamétraux à section uniforme s, il suffira de les répartir de manière que leur section totale soit égale à la section de la tôle au droit des divers parallèles ; leur nombre calculé d'après le développement d'un grand cercle, est donc double de ce qui serait nécessaire au droit d'un petit cercle de diamètre deux fois plus petit ; d'après cette observation, l'on voit que l'ossature métallique (*fig. 15*), se composera au pôle d'un petit cercle duquel partiront des arcs aboutissant à l'équateur ; ces arcs seront en nombre suffisant pour répondre au diamètre d'un premier petit cercle ; puis on doublera le nombre, jusqu'à atteindre un second cercle de diamètre deux fois plus grand, et ainsi de suite jusqu'à l'équateur.

Fig. 15.



Le calcul des génératrices (1) pourra se faire toujours de la même façon que dans les tuyaux, en les supposant rectilignes dans l'intervalle de deux directrices, et en appliquant à ces dalles élémentaires la portée répondant au plus grand écartement des directrices dans chaque zone.

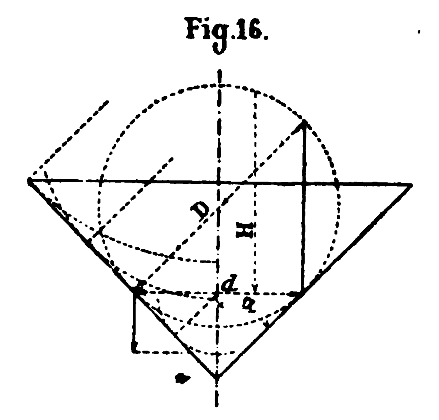
Comme application des réservoirs sphériques, on peut citer les fonds de réservoirs cylindriques. Dans ce cas, il y a lieu d'ajouter à la pression 1 000H, le poids mort de la calotte sphérique elle-même. Il est intéressant, alors de connaître la valeur de la poussée ; c'est la projection horizontale de l'effort tangentiel, qui a pour valeur $\frac{1\,000H}{8}\sqrt{D^2 - d^2}$ par mètre de développement de la circonférence de base de la calotte, et la pression qui inté-

(1) Les termes de génératrices et de directrices, employées par analogie avec ce qui précède, sont en contradiction avec les termes usuels dans ce cas.

resse par exemple une section de la couronne contre laquelle s'appuie ce fonds, est de : $\frac{1\,000Hd}{8}\sqrt{D^2 - d^2}$.

Réservoirs coniques.

Un réservoir conique peut être considéré comme l'enveloppe des segments de réservoirs sphériques de hauteur infiniment petite, dont les diamètres diminuent progressivement d'une façon continue depuis la base du cône jusqu'au sommet. Il en résulte que l'on peut appliquer à ces réservoirs les formules relatives aux réservoirs sphériques.



L'épaisseur e, à une hauteur quelconque, est donnée par suite par l'équation :

$$e = \frac{1\,000HD}{4R},$$

H étant la pression en mètres d'eau, R la tension du métal, D le diamètre de la sphère tangente suivant le cercle de diamètre d (*fig. 16*) et si l'on remplace D par $\frac{d}{\cos\alpha}$, α étant le demi-angle du cône.

$$e = \frac{1\,000Hd}{4\cos\alpha} \times \frac{1}{R}. \qquad \text{(A)}$$

Or, comme d'autre part, la composante verticale de la pression est $\frac{1\,000\pi d^2H}{4}$, qu'elle se répartit sur une circonférence de πd, la pression verticale par unité de longueur est $\frac{1\,000Hd}{4}$, laquelle se projette horizontalement sur l'apothème en : $\frac{1\,000Hd}{4\cos\alpha}$. (B)

Il en résulte, en comparant les expressions (A) et (B) que l'on peut calculer les directrices (que l'on doit appeler ici génératrices), en projetant horizontalement sur elles la pression verticale qui les sollicite et représentée par $\frac{1\,000Hd}{4}$, H étant la profondeur de liquide à considérer et d le diamètre correspondant du cône.

C'est suivant ces principes que nous avons calculé des silos de blé, d'une capacité de 150 m^3. La charge a été calculée comme résultant d'un liquide ayant comme poids spécifique celui du blé. Comme pour une calotte sphérique le nombre des génératrices à la partie inférieure du cône a été établi de manière que leur section totale fût équivalente à la section supérieure du tronçon correspondant, considéré formé par une tôle continue ; le tronçon immédiatement au-dessus, ayant une hauteur H piézométrique un peu plus faible, mais un diamètre *d* beaucoup plus grand, a donné un nombre de génératrices double, et par suite de ce que sa tension est plus forte, et en raison de ce que, à cette tension, s'ajoute encore celle du tronçon inférieur, et ainsi de suite.

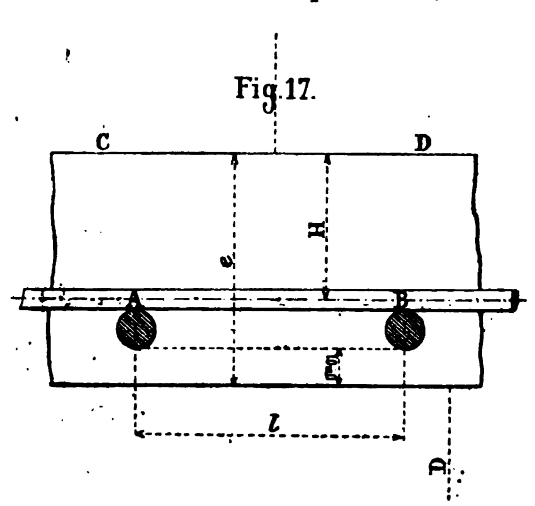
Quant aux directrices, elles ont été calculées comme travaillant à l'extension, et on leur a appliqué la formule du cylindre, en prenant comme pression $\frac{1\,000Hd}{4}$ tg α et comme diamètre *d*.

CHAPITRE V

Solides travaillant à la compression.

TUYAUX OU VOUTES SUPPORTANT UNE PRESSION EXTÉRIEURE

Ces tuyaux sont constitués comme les précédents, sauf que les génératrices sont placées extérieurement aux directrices. En outre à l'inverse aussi du cas précédent, il convient de placer les directrices aussi près que possible de la paroi intérieure.



Calcul des génératrices. — Pour déterminer la section des génératrices, on considère encore la partie ABCD (*fig. 17*), située cette fois à l'extérieur, comme constituée par une génératrice A B comprise entre deux directrices et toute la partie correspondante du ciment qui se trouve entre cette génératrice et la face externe

du tuyau. Comme dans le cas précédent le calcul de la dalle nous donne la hauteur H nécessaire à cet élément de dalle et la section de la génératrice qui en résulte pour résister au moment des forces extérieures. Il convient donc de faire H aussi grand que possible et par suite de fixer un minimum pour la zone de ciment limitée par la directrice et la face interne du tuyau. Comme plus haut en fixant cette épaisseur à 0,01 *m* en ajoutant H et les épaisseurs approximatives des fers, on a l'épaisseur totale du tuyau.

Calcul des directrices. — Pour le calcul des directrices, c'est encore la même formule que l'on peut employer :

$$M = \frac{p\,D'}{2\,R}$$

dans laquelle D', cette fois représente le diamètre extérieur du tuyau. Ce dernier est déterminé par le diamètre intérieur qui est donné, et l'épaisseur du tuyau que l'on peut fixer *a priori* d'une façon approximative comme nous venons de le voir.

Nous aurions droit de compter ici, encore mieux que dans le cas de l'extension, sur la résistance du ciment qui travaille bien à la compression, mais nous préférons l'omettre et nous réserver ainsi une marge de sécurité considérable.

En général, comme nous l'avons fait observer pour les tuyaux à pression intérieure, la section du ciment étant au moins 100 fois celle du métal, tandis que sa résistance à la compression n'est que 60 fois moins grande, il résulte que la résistance du ciment vient presque tripler celle du métal.

Comme dans les tuyaux travaillant à l'extension, l'épaisseur de ces derniers ne variant pas proportionnellement à leur diamètre, on voit que cette marge de sécurité diminue au fur et à mesure que le diamètre augmente.

Comme dans le cas précédent également, le profil du métal ne saurait jouer aucun rôle, attendu que les efforts normaux déterminent des réactions tangentielles.

S'il ne s'agit plus d'une voûte circulaire fermée, mais d'une voûte en arc de cercle, on peut appliquer à cette dernière le même calcul qu'au cercle entier si les extrémités de la voûte peuvent être considérées comme immuables et la pression comme uniformément répartie.

Si la voûte a un surbaissement compris entre 1/10 et 1/20, l'erreur commise est d'ordre négligeable.

Comparaison de la formule du cylindre avec d'autres modes de calcul. — Si nous comparons, en effet, les résultats obtenus par la formule du cylindre, pour des voûtes surbaissées en arc de cercle, extradossées concentriquement, et ceux que le calcul exact donne pour des voûtes d'égale résistance en arc de chaînette renversée, de même épaisseur à la clef, de même portée et de même flèche dont la forme se trouve quelque peu rehaussée par rapport à celle de l'arc de cercle, nous trouvons des différences très faibles pour les travaux de la matière dans les deux cas.

Nous avons pris comme exemple une voûte en maçonnerie de 60 *m* de portée, de 5 *m* de flèche, devant supporter en dehors de son propre poids une surcharge de 450 *kg* par mètre carré. Nous nous sommes donné diverses épaisseurs à la clef et avons calculé dans chaque cas le travail correspondant de la matière, d'après la méthode indiquée par M. Tourtay, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

D'autre part, nous avons appliqué la formule du cylindre à des voûtes de mêmes portée et flèche, en leur supposant la même épaisseur uniforme que l'épaisseur à la clef des voûtes en chaînette. Dans cette formule, nous avons pour diamètre celui qui répond à la corde 60 *m* et à la flèche de 5 *m* augmenté de deux fois l'épaisseur de la voûte, pour avoir le diamètre extérieur.

Voici le tableau comparatif des résultats obtenus dans les deux cas :

ÉPAISSEURS A LA CLÉ	TRAVAIL PAR CENTIMÈTRE CARRÉ		DIAMÈTRE	VOLUMES DE MAÇONNERIE	
	CHAINETTE	ARC DE CERCLE		CHAINETTE	ARC DE CERCLE
m	*kg*	*kg*	*m*	m^3	m^3
1,732	25,22	26,06	188,464	107,76	105,89
0,5083	31,05	31,48	186,0166	31,638	31,08
0,308	35,50	36,76	185,616	19,174	18,83
0,261	38,64	39,18	185,522	16,236	15,96
0,200	43,27	44,03	185,400	12,450	12,23
0,143	51,16	52,31	185,286	8,902	8,74
0,0996	63,68	64,99	185,1992	6,216	6,09

La formule du cylindre, autant que l'on peut comparer des arcs différant sensiblement de forme, donne donc des résultats un peu plus défavorables. Cette comparaison n'a d'autre objet d'ailleurs que de nous rassurer sur l'approximation suffisante en pratique de la formule du cylindre appliquée aux voûtes en arc de cercle.

Les volumes sont nécessairement plus faibles dans le cylindre, puisque la voûte en chaînette s'élargit sensiblement de la clef aux naissances.

En pratique, pour les voûtes surbaissées en arc de cercle, on grossira quelque peu le ciment aux naissances, mais les fers d'ossature naturellement seront à section constante.

D'autre part M. G.-A. Wayss, qui s'est fait le champion de l'ossature métallique en Autriche, indique comme expression de la poussée dans une voûte en arc de cercle surbaissé au 1/10 :

$$Q = 1{,}234\, pl$$

p étant la charge uniformément répartie par mètre de longueur en projection horizontale,

l étant la portée ou corde.

Or, d'après la formule du cylindre l'effort tangentiel ou R_c est égal à $\frac{PD}{2}$.

P étant la surcharge répartie uniformément par mètre de longueur d'arc.

Donc si l'on appelle, l la corde, f la flèche, on a :

$$D = \frac{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + f^2}{f},$$

et, remplaçant f par sa valeur $\frac{l}{10}$,

$$D = 2{,}6\, l$$

et, par suite, $R_c = Q = 1{,}3\, Pl.$

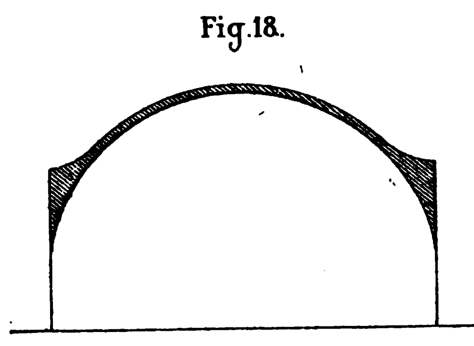
Comme P, charge suivant l'arc, diffère très peu de p, charge suivant la corde pour un arc surbaissé au 1/10, on voit que la formule du cylindre est très approchée.

Cette formule est également applicable aux voûtes à plusieurs centres, aux arcs elliptiques, pourvu que le diamètre employé dans la formule soit celui qui répond au plus grand rayon de courbure.

Voûtes à grandes portées. — Si les portées deviennent considérables, on peut considérer l'ouvrage comme composé à la partie centrale d'une voûte de moindre portée et d'une flèche beaucoup plus petite, s'arcboutant sur deux épanouissements faisant fonc-

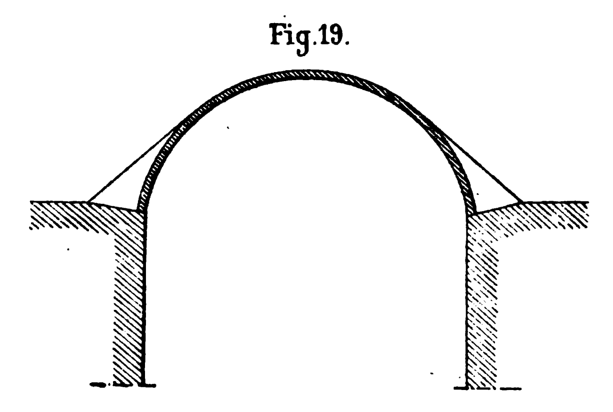
tion de culées. Si l'on dispose d'une paroi de terre solide, il suffira de remplir les reins avec du béton (*fig. 18*).

Fig. 18.



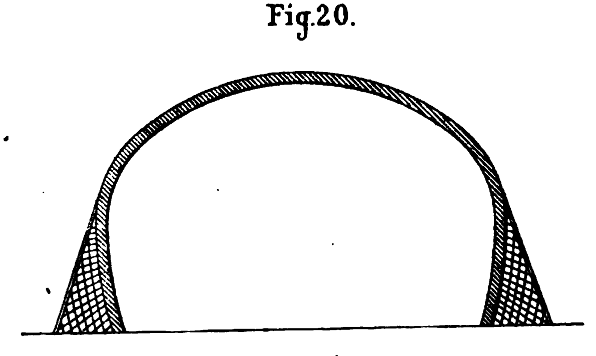
Il y a lieu de construire ces épanouissements avec le plus de rigidité possible, en les armant à la partie supérieure d'une barre de fer, ou s'il est nécessaire d'un véritable treillis métallique réunissant cette barre avec les fers de la voûte, formant ainsi avec la partie de voûte qui le concerne une poutre s'opposant à la flexion (*fig. 19*).

Fig. 19.



Si l'on a une voûte moins surbaissée et dont les points d'appui

Fig. 20.



aux reins soient mauvais, on lui donnera les dispositions de la figure 20, les raidisseurs dont nous avons parlé, devenant ainsi en

outre de véritables supports espacés de distance en distance, sur lesquels la voûte vient s'arcbouter.

Si malgré ces dispositions, la partie de voûte sans nervure, n'est pas assez surbaissée pour qu'on puisse négliger le supplément de fatigue dû aux moments fléchissants dont elle est le siège, il ne servirait à rien d'adopter des profils de fer à moment d'inertie élevé.

En effet, comme nous l'avons vu, quelque faible que soit l'épaisseur du ciment, le fer rond nous donne, grâce à sa plus grande distance h au centre de gravité du ciment qui le recouvre, un moment d'inertie beaucoup plus fort que le fer profilé logé dans la même épaisseur de ciment. Il y a une autre ressource, c'est d'augmenter cette épaisseur, là où le moment fléchissant est maximum, c'est-à-dire à la clef.

A la suite du même calcul de M. Wayss que nous venons de mentionner pour la détermination de la poussée d'une voûte en arc de cercle, cet ingénieur trouve pour le maximum d'un moment fléchissant pour un surbaissement de 1/10.

$$\mu = pl^2 \times \frac{1}{624}.$$

Si h est la hauteur théorique de la partie de voûte qui doit travailler à la flexion, l'effort F correspondant sur la section de cette dernière sera de :

$$F = \frac{1}{624\,h} \times pl^2,$$

et le rapport de cette expression de l'effort tangentiel dû au moment fléchissant, à celle de la poussée sera de :

$$\frac{F}{Q} = \frac{l}{770\,h}.$$

Pour $h = 0{,}04\ m$ ce rapport est égal approximativement à $\frac{1}{30}\,l$.

Soit pour $l = 5$ $\qquad \frac{F}{Q} = \frac{1}{6},$

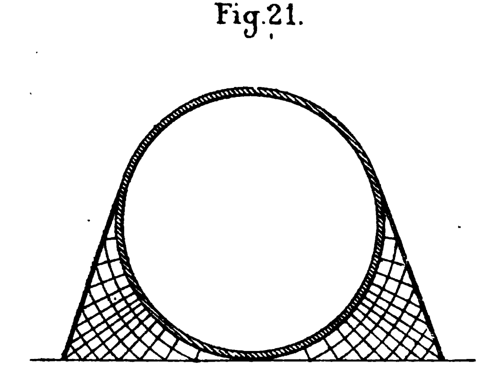
Soit pour $l = 10$ $\qquad \frac{F}{Q} = \frac{1}{3}.$

Bien que ces excédents de fatigue et même de plus grands n'aient rien d'inquiétant par suite de la marge de sécurité que nous offre la résistance du ciment à la compression (laquelle est

d'environ deux fois la charge), il conviendra pour de grandes portées de grossir progressivement vers la clef l'épaisseur de la voûte.

Raidisseurs. — Enfin si l'arc se complète encore, si la voûte se ferme, nous retombons dans la conduite circulaire, et dans le cas particulier où cette conduite est recouverte de terrassements qui chargent sa partie supérieure bien plus que la poussée des terres ne le fait sur les reins, ces raidisseurs jouent un rôle important en s'opposant à la déformation résultant de cette mauvaise disposition des charges *(fig. 21)*.

Fig. 21.



Mais leur rôle ne se borne pas là, ils doivent être considérés encore comme de véritables supports, comme des sommiers de chaudière, s'appuyant sur le sol résistant.

S'ils sont répartis à des intervalles égaux au diamètre de la conduite, cette dernière, grâce à son ossature, peut, non seulement se soutenir elle-même dans ces intervalles, mais encore supporter le poids de son contenu et des charges extérieures.

La section des génératrices paraîtra bien faible pour résister à de pareilles charges sur des portées importantes, mais si l'on fait le calcul de l' $\frac{I}{v}$ général de ces dernières, on peut se rendre compte qu'il est considérable.

En effet, les génératrices de section s réparties tous les 0,10 *m* sur la circonférence de la conduite, peuvent être considérées comme ayant approximativement le même $\frac{I}{v}$ qu'une tôle continue de même poids que l'ensemble de ces génératrices.

Soit en effet s la section des génératrices, si ces dernières sont réparties tous les 10 *cm*, l'épaisseur de la tôle continue équivalente sera $10 s$, et par suite si D est le diamètre moyen de la conduite, le diamètre extérieur sera $D + 10\,s$

et le diamètre intérieur sera $D - 10\,s$.

L'$\frac{I}{v}$ de cette couronne d'épaisseur $10s$, sera par suite :

$$\frac{I}{v} = \frac{(D+10s)^4 - (D-10s)^4}{D+10s} \times \frac{\pi}{32}$$

ou bien
$$\frac{I}{v} = \frac{80\,Ds(D^2+100s^2)}{D+10s} \times \frac{\pi}{32}$$

Or, on a parfaitement le droit de négliger $10s$ à côté de D, et $100s^2$ à côté de D^2 (1), on aura donc :

$$\frac{I}{v} = 2{,}5\,\pi D^2 s$$

d'autre part, le moment fléchissant sur une portée $l = D$, avec une charge p uniformément répartie par mètre sera :

$$\mu = \frac{pD^2}{8}$$

si l'on convient de faire travailler les génératrices à raison de R kilos par unité de surface, on aura donc :

$$2{,}5\pi\, D^2 sR = \frac{pD^2}{8}$$

d'où l'on tire :

$$p = [20\pi\, Rs].$$

Pour fixer les idées sur l'importance de cette charge, nous supposerons $R = 10\,000\,000\,kg$, $s = 0{,}00005\,m$ (ce qui répond à un diamètre de génératrice de $8\,mm$), il vient :

$$p = 20 \times 3{,}14 \times 10\,000\,000 \times 0{,}00005$$

ou
$$p = 31\,400\,kg.$$

On a remarqué que la charge normale est la même quel que soit le diamètre ; cela ne doit pas surprendre, puisque, à cause de l'égalité du diamètre et de la portée que l'on s'est imposée, le moment d'inertie et le moment fléchissant sont tous deux proportionnels à D^2.

Voûtes sphériques. — Pour les voûtes sphériques comprimées, le calcul est exactement le même que celui que nous avons exposé pour les voûtes travaillant à l'extension.

(1) En effet pour $D = 3\,m$, et $s = 0{,}00005\,m$, on voit que le rapport du terme négligé au terme conservé est de 0,00016 et c'est le carré de 0,00016 qui est le rapport de $\frac{100s^2}{D^2}$.

CHAPITRE VI

Solides travaillant à la flexion.

Économie des poutres en ciment avec ossature métallique. — On sait que dans tout solide soumis à la flexion, une partie de ce dernier travaille à la compression, l'autre à l'extension. Pour la partie travaillant à l'extension, le métal est nécessaire à cause de la faible résistance du ciment à l'extension ; en ce qui concerne celle qui travaille à la compression, si l'on admet que l'acier puisse travailler à 1 000 *kg* par centimètre carré à la compression, 1 *cm*² de ce métal sur une longueur de 1 *m* cubera 100 *cm*³ et pèsera 0,780 *kg*. Si l'on suppose que le kilogramme d'acier ouvré coûte 0,30 *f*, il en résulte que le prix de 1 000 *kg* de résistance revient à. . . . . *0,234 f pour l'acier.*

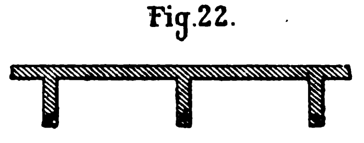
D'autre part, le mortier de ciment peut travailler à la compression à raison de 20 *kg* par centimètre carré, et les mêmes 100 *cm*³, en mortier cette fois, à raison de 50 *f* par mètre cube coûteront 0,005 *f*; par suite pour obtenir 1 000 *kg* de résistance, soit cinquante fois plus, il faudra dépenser :
0,005 × 50 = ... *0,250 f pour le ciment.*
C'est sensiblement la même chose que pour l'acier.

Mais on réalise une économie importante dans l'âme qui réunit les deux semelles, car si dans les poutres métalliques la section de cette âme est aussi importante que celle des semelles, bien que son rôle soit très restreint au point de vue du moment d'inertie, dans les poutres hétérogènes, l'âme ne représente qu'une faible portion du volume de la semelle comprimée, et si elle n'augmente pas sensiblement non plus le moment d'inertie, elle accroît considérablement la résistance par suite de circonstances que nous étudierons plus loin.

Il est donc logique de chercher à substituer le ciment au métal dans la semelle des poutres soumise à la compression (en dehors des avantages des ouvrages en ciment avec ossature métallique que nous avons mentionnés plus haut) et ce d'autant plus que le volume du ciment est assez grand pour assurer la continuité de la semelle comprimée et lui permettre ainsi de présenter par elle-même une surface continue constituant la plate-forme dans un pont ou le plancher dans une maison.

Description d'un plancher. — La construction que nous envisageons est une poutre en ciment avec ossature métallique composée d'une plate-bande continue encadrée par les murs qui l'entourent, et portée par un certain nombre de nervures ou poutrelles en ciment à l'extrémité inférieure desquelles se trouve logée une barre de fer rond ou d'acier *(fig. 22)*.

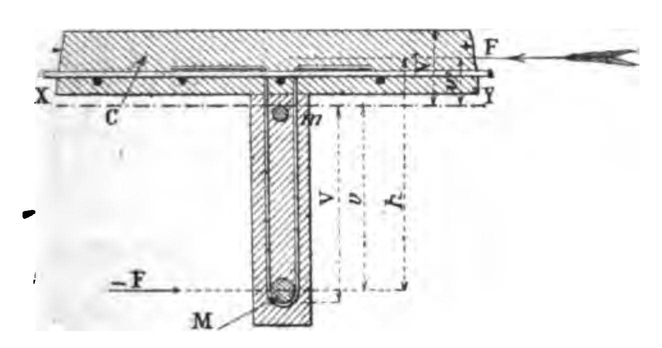
Fig. 22.



Les poutrelles sont généralement espacées d'environ 70 *cm* d'axe en axe.

La figure 23 représente une poutrelle à une plus grande échelle avec la partie de plancher qui l'intéresse et qui forme avec elle la poutre proprement dite, dont la semelle supérieure, de section

Fig. 23.



C = *el* (*l* étant la distance d'axe en axe des poutrelles, et *e* l'épaisseur du plancher), travaille à la compression et dont la semelle inférieure M (section de la barre) travaille à l'extension.

Cette barre est noyée dans le ciment de la poutrelle et est entourée par un certain nombre d'attaches de 3 à 4 *mm* suivant les cas, dont les branches repliées viennent se ligaturer sur un treillis métallique établi dans la semelle *e*.

Ce treillis métallique joue un rôle multiple. Il donne au plancher la résistance suffisante pour supporter la surcharge entre deux poutrelles ; il fournit à la semelle supérieure la raideur nécessaire pour travailler tout entière, c'est-à-dire sur toute sa largeur *l* de conserve avec la semelle inférieure ; il soulage la compression du ciment par sa propre résistance à la compression. Quant aux attaches, elles complètent la liaison que la poutrelle opère entre les deux semelles.

Si l'on voulait tenir compte dès le principe de tous les éléments qui constituent la poutre en ciment avec ossature métallique, telle que nous venons de la décrire, on arriverait à des équations trop complexes pour être pratiques.

D'autre part, nous considérerons la poutre hypothétique comme formée par la semelle C et la barre M, et nous négligerons pour l'instant, aussi bien le ciment de la poutrelle qui travaille à l'extension que le treillis de la plate-bande qui travaille à la compression. Puis nous déterminerons par l'expérience la marge de sécurité qu'apportent les facteurs qui ont été négligés (*fig. 23*).

Rapport des sections du ciment et du métal. — Le couple des forces extérieures qui sollicite cette poutre a pour valeur :

$$\mu = Fh.$$

$+$ F étant l'effort de compression qui s'exerce au centre de gravité de la semelle comprimée C ;

— F, l'effort parallèle, égal et de signe contraire qui s'applique au centre de gravité de la semelle tendue M ;

h, la distance qui sépare ces deux centres de gravité.

$$F = \frac{\mu}{h} \quad \text{est connue.}$$

Les résistances de la semelle inférieure travaillant à R_M kilos par centimètre carré, et de la semelle supérieure travaillant à R_c kilos par centimètre carré devant faire équilibre à cette force F, on doit avoir :

$$MR_M = F\ CR_c.$$

D'où :

$$\frac{C}{M} = \frac{R_M}{R_c}. \qquad (1)$$

Ces équations simples permettraient de déterminer immédiatement les sections respectives du ciment et du métal, si la hauteur h était suffisamment grande par rapport aux épaisseurs des semelles, pour que l'excédent de fatigue des fibres extrêmes sur les fibres moyennes pût être considéré comme négligeable.

Dans cette hypothèse le rapport $\frac{C}{M}$ serait égal à :

$$\frac{1\,500\ kg}{40\ kg} = 37{,}50$$

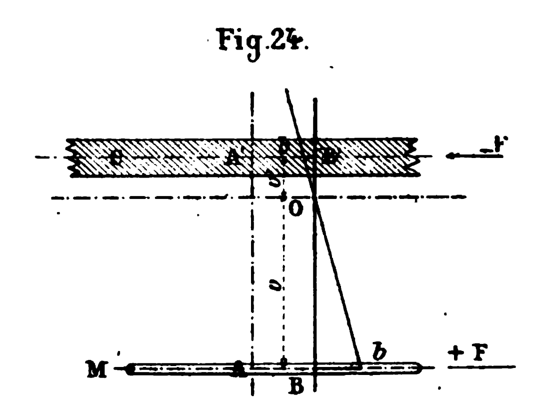
(si l'on adopte ces coefficients de travail respectivement pour

l'acier et pour le ciment; nous verrons plus loin pourquoi l'on peut adopter des coefficients aussi élevés).

Cette hypothèse ne s'écarte pas beaucoup de la vérité pour le métal, non seulement parce que le diamètre de la barre est relativement faible, mais encore parce que l'axe neutre XY (*fig.* 23), vu la grande masse du ciment, est toujours très éloigné du fer, de sorte que le rapport $\frac{v}{V}$ des distances à l'axe neutre des fibres moyennes et extrêmes, se rapproche sensiblement de l'unité.

Pour la semelle comprimée, au contraire, l'épaisseur e du ciment est relativement importante et la distance de son centre de gravité à l'axe neutre XY est très faible, de sorte que le rapport $\frac{v'}{V'}$ se rapproche plutôt de 1/2 que de l'unité.

Pour déterminer ce rapport $\frac{v'}{V'}$, il faut connaître la position de l'axe des fibres neutres. Dans les solides homogènes, la position de cet axe s'obtient en divisant la hauteur h en parties inversement proportionnelles aux sections des deux semelles, sans se préoccuper du coefficient d'élasticité de la matière, coefficient que l'on admet être le même à la compression et à l'extension. Si les coefficients d'élasticité ne sont plus les mêmes, si l'un d'eux est n fois plus grand que l'autre, on démontre aisément que l'on peut opérer comme dans les solides homogènes, à la condition d'amplifier n fois la section de la matière dont le coefficient d'élasticité est n fois plus grand.



Considérons en effet (*fig.* 24) une tranche élémentaire A'B' de la semelle c, la fibre moyenne de cette tranche sous l'action de la force —F se comprime par mètre linéaire d'une quantité $B'b' = \frac{F}{E_c}$ (E_c étant le coefficient d'élasticité de la matière à la compression).

De même la fibre moyenne de la tranche AB de la semelle M, sous l'action de la force + F, s'allonge par mètre linéaire de $Bb = \frac{F}{E_M}$ (E_M étant le coefficient d'élasticité à l'extension).

On a par suite :

$$\frac{B'b'}{Bb} = \frac{M}{C}.$$

Si l'on joint b' et b, la ligne $b'b$ coupe la verticale BB' au point o qui se trouve sur l'axe neutre, à des distances v' et v des axes des sections considérées déterminées par l'équation :

$$\frac{v'}{v} = \frac{B'b'}{Bb} = \frac{M}{C}. \qquad (2)$$

Mais si les coefficients d'élasticité ne sont plus les mêmes, E_c et E_M ne disparaissent plus dans les équations précédentes.

Et l'on a :

$$\frac{v'}{v} = \frac{B'b'}{Bb} = \frac{E_M M}{E_c C} = \frac{\frac{E_M}{E_c} M}{C},$$

et si l'on pose $\frac{E_M}{E_c} = n$:

$$\frac{v'}{v} = \frac{nM}{C}. \qquad (3)$$

C'est-à-dire que si l'on a soin d'amplifier la section métallique dans le rapport n de son coefficient d'élasticité à celui du ciment, on a tout droit d'opérer comme dans un solide homogène.

Il en résulte donc que la position présumée de l'axe neutre dépend de la valeur prêtée à n, rapport des coefficients d'élasticité du métal et du mortier de ciment.

Rendons-nous compte de l'importance de cette influence.

Nous avons vu que si la hauteur h était assez grande pour que l'on puisse négliger le rayon de la barre, et la demi-épaisseur $\frac{e}{2}$ de la plate-bande en ciment, le rapport $\frac{C}{M}$ des sections des deux semelles théoriques serait approximativement égal au rapport $\frac{R_M}{R_c}$, ceci quelle que soit la position de l'axe neutre et, par suite, quelle que soit la valeur de n. Or, en général, à cause de la faible valeur du rayon de la barre par rapport à h, le rapport $\frac{v}{V}$ rela-

tif au métal peut, sans erreur sensible, être pris égal à l'unité, tandis que le rapport $\frac{v'}{V'}$ relatif au ciment ne saurait être pris égal à l'unité sans commettre une erreur grossière ; nous allons donc déterminer exactement ce rapport, ou plutôt le rapport inverse $\frac{V'}{v'}$, puisque c'est par ce rapport qu'il faudra multiplier le rapport $\frac{R_M}{R_c}$, pour avoir $\frac{C}{M}$, c'est-à-dire le rapport cherché des sections des deux semelles.

A cet effet, de l'équation (3) on tire :

$$\frac{v'}{v+v'}=\frac{v'}{h}=\frac{nM}{nM+C},$$

d'où :

$$v'=\frac{nMh}{nM+C}, \qquad (4)$$

et :

$$V'=v'+\frac{e}{2}=\frac{nMh+(nM+C)\frac{e}{2}}{nM+C}.$$

D'où par suite :

$$\frac{V'}{v'}=\frac{nMh+\frac{e}{2}(nM+C)}{nMh}.$$

On a donc :

$$\frac{C}{M}=\frac{R_M}{R_c}\times\frac{V'}{v'}=\frac{R_M}{R_c}\times\frac{nMh+\frac{e}{2}(nM+C)}{nMh},$$

ou bien, en divisant le second terme du second membre haut et bas par M :

$$\frac{C}{M}=\frac{R_M}{R_c}\times\frac{nh+\frac{e}{2}\left(n+\frac{C}{M}\right)}{nh},$$

ou bien :

$$nh\frac{C}{M}=\frac{R_M}{R_c}n\left(h+\frac{e}{2}\right)+\frac{R_M}{R_c}\times\frac{e}{2}\times\frac{C}{M}$$

Nous pouvons alors dégager à nouveau la valeur de $\frac{C}{M}$, et l'on a :

$$\frac{C}{M} = \frac{n\left(h + \frac{e}{2}\right)}{nh - \frac{e}{2}\frac{R_M}{R_c}} \times \frac{R_M}{R_c}$$

qui peut s'écrire définitivement :

$$\frac{C}{M} = \frac{\frac{h}{\frac{e}{2}} + 1}{\frac{h}{\frac{e}{2}} - \frac{1}{n}\frac{R_M}{R_c}} \times \frac{R_M}{R_c}. \qquad (5)$$

Le premier terme du second membre $\frac{\frac{h}{\frac{e}{2}} + 1}{\frac{h}{\frac{e}{2}} - \frac{1}{n}\frac{R_M}{R_c}}$ n'est autre chose que le rapport rectificatif $\frac{V'}{v'}$.

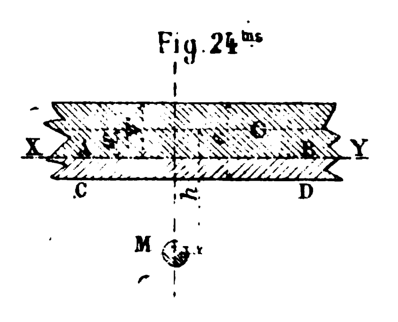
On voit de suite que ce rapport est toujours plus grand que l'unité, et qu'il tend vers l'unité, quand le rapport de la hauteur h à la demi-épaisseur $\frac{e}{2}$ tend vers l'infini.

Le rapport $\frac{V'}{v'}$ diminue également quand n augmente, tout autre chose égale d'ailleurs, car $\frac{1}{n} \times \frac{R_M}{R_c}$ peut s'écrire : $\frac{1}{n \times \frac{R_c}{R_M}}$; pour que l'influence de n se fasse sentir, il faut donc que le facteur $\frac{R_c}{R_M}$ qui le multiplie, soit constant.

Or il existe une certaine relation entre le coefficient d'élasticité du ciment, d'où résulte la valeur de n, et la résistance de ce ciment. Comme nous allons le voir maintenant, l'expérience indique que les mortiers de ciment les plus résistants sont ceux qui ont le coefficient d'élasticité le plus élevé, et par conséquent pour lesquels la valeur de n est la plus faible. Par suite n et R_c, variant en sens inverse, le rapport $\frac{V'}{v'}$ pourrait être considéré comme

à peu près constant pour tous les ciments, pour un rapport déterminé de h et de e. Autrement dit on peut, jusqu'à un certain point, se fixer une valeur moyenne pour le produit $n \times R_e$, mais dans cette détermination, il faut avoir soin, si l'on a pris pour R_e une valeur assez forte, de prendre pour n une valeur assez faible. Les constructeurs qui admettent à la fois les deux maximum $n = 40$ et $R_e = 40$, commettent donc une erreur en voulant bénéficier à la fois de deux avantages incompatibles : axe neutre peu élevé, répondant à un ciment supposé de mauvaise qualité, et grande résistance répondant à un ciment de bonne qualité. Avec $R_e = 40$, qui n'est d'ailleurs qu'un travail fictif, nous prenons $n = 20$ pour des dosages de 400 *kg* et $n = 10$ pour des dosages de 700 *kg*.

Il suffit de jeter un nouveau coup d'œil sur l'expression de $\frac{V'}{v}$, en fonction de n, pour se rendre compte que l'erreur que nous venons de signaler ne serait pas considérable pour un rapport assez grand $\frac{h}{\frac{e}{2}}$. Mais en pratique, lorsqu'il s'agit de planchers, on cherche à diminuer h autant que possible, bien que cette réduction soit absolument contraire à l'économie au point de vue de la poutre; par contre, cette réduction de hauteur se traduit par une économie considérable, correspondant à la réduction de hauteur des murs de tous les étages. En outre, quand cette hauteur h est faible, et que l'on donne à n des valeurs exagérées, l'axe des fibres neutres se trouve réellement beaucoup plus haut qu'on ne le suppose, il tombe à l'intérieur de la semelle supérieure *(fig. 24 bis)* en détache une partie plus ou moins importante ABCD de ciment, laquelle fait défaut à la compression et vient au contraire concourir inutilement au travail à l'extension.



Ce sont ces diverses considérations qui nous ont conduit à chercher les coefficients d'élasticité des mortiers de ciment à employer dans ces constructions.

CHAPITRE VII

Détermination du coefficient d'élasticité du ciment.

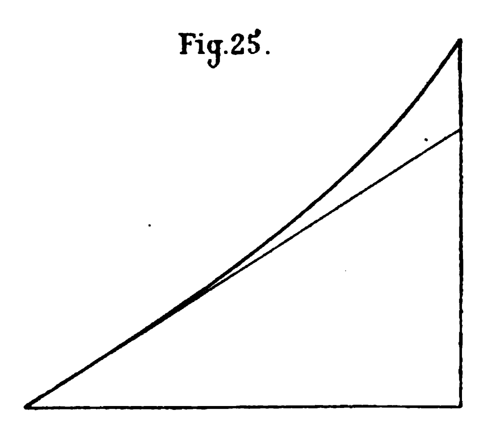
Présumant que la contraction des ciments comprimés était très faible et la croyant même inférieure à celle qu'elle accuse en réalité, il nous parut tout d'abord que le moyen le plus convenable pour la déterminer était d'expérimenter un certain nombre de poutres en ciment avec ossature métallique d'une longueur suffisante pour accuser sous les charges des flèches de quelque importance. Nous avons attribué diverses valeurs à *n* et calculé les flèches d'après ces divers coefficients ; la valeur de *n* pour laquelle la flèche observée se rapprochait le plus de la flèche calculée, devait donc être celle qu'il convenait d'adopter à l'avenir dans les constructions. Or, il arriva que tant que les charges ne dépassaient pas de beaucoup celles qui étaient prévues comme devant correspondre au travail normal des matières, les flèches observées étaient tellement inférieures aux flèches calculées qu'il n'y avait pas de valeur de *n* pour laquelle ces deux valeurs des flèches pussent coïncider. Puis, quand les charges devenaient trois ou quatre fois plus grandes que les charges normales, les accroissements de flèches devenaient considérables et se rapprochaient alors des résultats théoriques. N'ayant pas encore reconnu l'influence des phénomènes secondaires dont nous vous entretiendrons tout à l'heure, causes de cette non-concordance momentanée de la théorie et de l'expérience, nous n'avons pas cru devoir attacher d'importance à la coïncidence qui se manifestait au moment où la poutre semblait avoir passé la limite d'élasticité.

Nous avons pensé un moment à faire des essais sur des poutres dépourvues d'ossature, mais avions-nous le droit d'appliquer le même coefficient d'élasticité à la compression et à l'extension, à une matière dont la résistance est si différente dans les deux cas, ce qui revient à admettre *a priori* que l'axe des fibres neutres passe par le centre de gravité de la section de la poutre.

M. L. Durand-Claye, inspecteur général des ponts et chaussées, admet qu'il en est ainsi d'après la méthode qu'il a exposée dans les *Annales des ponts et chaussées de 1888*, pour déterminer par la flexion le coefficient d'élasticité des ciments.

Un appareil enregistre automatiquement le diagramme des flèches subies par un prisme reposant sur deux points d'appui et

chargé en son milieu de poids croissant jusqu'à rupture du prisme. Ce diagramme, interprété ensuite par l'analyse, permet de tirer, à l'aide de calculs complexes, la valeur du coefficient d'élasticité d'après l'écart entre l'ordonnée extrême qui mesure l'allongement au moment de la rupture, et l'ordonnée théorique qui résulte du prolongement de la tangente à la courbe pratique (*fig. 25*).


Fig. 25.

M. Durand-Claye a obtenu ainsi pour un mortier au dosage de 750 *kg* et âgé de deux mois.

$$E_c = 2,4 \times 10^9 \text{ d'où } n = \frac{E_M}{E_c} = 8,33 \text{ pour } E_M = 20 \times 10^9.$$

Le prisme éprouvé avait une section rectangulaire de 31 *mm* par 30,4 *mm* de hauteur. On lui avait appliqué une charge de 3,98 *kg* sur une portée de 1 *m*; cette charge qui a déterminé la rupture répond, en tenant compte du poids propre de la poutre, à une résistance réelle à la traction de 19 *kg* par centimètre carré.

Ajoutons, et c'est ce qui paraît anormal, qu'un prisme semblable de ciment de Portland, pur, a donné à peu près le même coefficient, bien que la résistance à la rupture fût cette fois de 62 *kg* par centimètre carré.

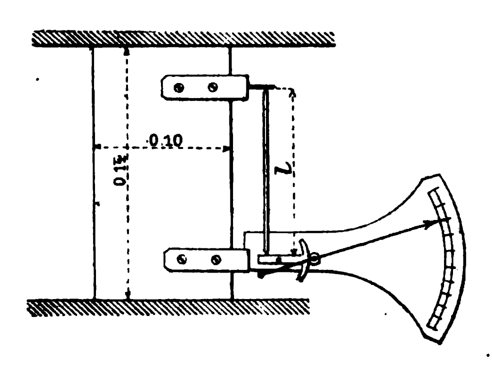
Mais M. Durand-Claye a aussi déterminé directement l'affaissement d'un cube de ciment soumis à de fortes pressions. Ici la méthode est réduite à son maximum de simplicité : elle consiste à comprimer un bloc de ciment et à lire les affaissements correspondants à l'aide d'un appareil d'une extrême sensibilité.

Nous avons fait construire un appareil semblable à celui qui a été monté par M. Klein, chef du dépôt de l'École des ponts et chaussées, pour répéter nous-mêmes ces expériences sur des mortiers de ciment offrant une résistance à la rupture se rapprochant davantage de celle des mortiers que nous employons, car les mortiers éprouvés au laboratoire des ponts et chaussées n'accusaient que 38 à 40 *kg* à la rupture, ce que nous ne nous expliquons pas.

Cet appareil se compose essentiellement de deux brides (*fig.* 26) qui viennent adhérer au bloc à essayer à une distance (l) d'environ 125 *mm* d'axe en axe, à l'aide de vis de serrage. Les blocs éprouvés sont des parallélipipèdes bien dressés sur leurs faces, mesurant 0,14 *m* de hauteur et 0,10 *m* × 0,10 *m* de base.

Entre les deux brides, on pose une tige verticale dont la longueur l est réglable à volonté et dont la pointe supérieure s'engage sous une portée de la bride supérieure, tandis que la pointe inférieure repose sur la branche d'un secteur denté engrenant avec un pignon qui entraîne une aiguille sur un cadran divisé. Chaque division de ce cadran correspond, par suite de l'amplification du bras de levier, à 1/100 de millimètre d'abaissement de la tige, c'est-à-dire d'affaissement effectif de la hauteur l de bloc qui intéresse la tige.

Fig 26.



Le tableau suivant donne les résultats obtenus pour divers mortiers.

Ces essais montrent que les affaissements rapportés aux pressions subies augmentent assez régulièrement, mais lentement, avec la pression.

Dans les métaux, l'allongement s'accroît proportionnellement à la charge, jusqu'à la limite d'élasticité, c'est-à-dire que le rapport de l'allongement à la charge est constant jusqu'à cette limite. Ici l'on remarquera que les affaissements sont inappréciables jusqu'à une certaine charge, 30 *kg* par exemple, puis ils atteignent très vite une valeur sensible qui augmente lentement, mais progressivement. On pourrait donc dire plutôt que, jusqu'à une certaine limite, les ciments n'éprouvent qu'une très faible déformation, puis, à partir de cette limite qui n'offre encore aucun danger, les affaissements deviennent sensibles et augmentent progressivement par rapport aux pressions qui les causent.

Nous venons de dire que la période des déformations sensibles n'est nullement dangereuse; en effet, nos premiers essais, que nous continuerons, nous ont montré que le prisme de ciment

SPÉCIFICATION DES BLOCS D'ESSAI 1	PRESSION manométrique P en kilogrammes 2	PRESSION par centimètre carré $(P-2,5\ k)\times 7,06$ ou R 3	NOMBRE DE DIVISIONS accusé par l'aiguille d 4	APPAISSEMENTS PAR MÈTRE $a = \frac{d}{l}$ 5	RAPPORTÉS A 100 k $a \times \frac{100}{R}$ 6	COEFFICIENTS D'ÉLASTICITÉ $E_c = \frac{10000\ R}{a}$ 7	RAPPORT n ou $\frac{20 \times 10^9}{E_c}$ 8
	kg	kg		m	m		
I Dosage : 400 *k*. — Age : 53 jours. — Durci à l'air. — Gâché à la main. $l = 0,125$.	7	31,77	0,5	0,00004	0,00013	$7,94 \times 10^9$	21,20
	8	38,83	1	0,00008	0,00021	$4,85 \times 10^9$	
	10	52,95	7	0,00056	0,000110	$0,94 \times 10^9$	
	11	60,01	9	0,00072	0,000120	$0,83 \times 10^9$	
	11,25	61,77	12	0,00096	0,000155	$0,64 \times 10^9$	
	11,50	63,54	17	0,00136	0,000214	$0,46 \times 10^9$	
	11,75	65,30	22	0,00176	0,000270	$0,37 \times 10^9$	
	12	67,07	25	0,00200	0,000298	$0,33 \times 10^9$	
	12,50	70,60	27	0,00216	0,000305	$0,32 \times 10^9$	
II Dosage : 400 *k*. — Age : 58 jours. — Durci à l'air. — Gâché à la main. $l = 0,125$.	5,25	19,44	1	0,00008	0,00041	$2,43 \times 10^9$	15,87
	6,00	24,71	2	0,00016	0,00064	$1,54 \times 10^9$	
	6,75	30,00	2,5	0,00020	0,00066	$1,50 \times 10^9$	
	7,50	35,30	3,5	0,00028	0,00080	$1,26 \times 10^9$	
	8,75	44,12	4,5	0,00036	0,00082	$1,22 \times 10^9$	
	9,50	49,42	5,5	0,00044	0,00089	$1,12 \times 10^9$	
	10	52,95	6,5	0,00052	0,00099	$1,02 \times 10^9$	
	10,75	58,24	7,5	0,00060	0,000103	$0,97 \times 10^9$	
	11,75	63,30	8,5	0,00068	0,000105	$0,96 \times 10^9$	
	12	67,07	9,5	0,00076	0,000118	$0,88 \times 10^9$	
	15,75	93,54	38	0,000300	0,000320	$0,31 \times 10^9$	
III Dosage : 500 *k*. — Age : 40 jours. — Durci à l'eau chaude. — Gâché à la main. $l = 0,120$.	10	52,95	5	0,000417	0,00079	$1,27 \times 10^9$	15,75
	11	60,01	6	0,000500	0,00083	$1,20 \times 10^9$	
	12	67,07	7	0,000583	0,00087	$1,15 \times 10^9$	
	13	74,13	8	0,000666	0,000895	$1,11 \times 10^9$	
	14	81,19	9	0,000783	0,00090	$1,10 \times 10^9$	
	15	88,25	10	0,000833	0,00094	$1,06 \times 10^9$	
	15,5	91,78	11	0.000917	0,000100	$1,00 \times 10^9$	
	16	95,31					
IV Dosage : 700 *k*. — Age : 50 jours. — Durci à l'eau chaude. — Gâché à la machine. $l = 0,125$.	7,25	34,53	1	0,00008	0,00024	$4,19 \times 10^9$	7,24
	8,75	44,12	2	0,00016	0,00036	$2,76 \times 10^9$	
	10,50	56,48	3	0,00024	0,00043	$2,36 \times 10^9$	
	12,25	68,83	4	0,00032	0,00047	$2,15 \times 10^9$	
	14	81,19	5	0'00040	0,00049	$2,03 \times 10^9$	
	16,50	98,84	6	0,00048	0,00049	$2,05 \times 10^9$	
	17,75	107,66	7	0,00056	0,000515	$1,98 \times 10^9$	

déchargé de l'effort qu'il supportait a repris presque intégralement, même pour les charges se rapprochant de la rupture, sa hauteur primitive, ce qui prouve que la limite d'élasticité se confond presque avec la rupture.

Il en résulte que, dans la série des observations faites pour un même bloc à des pressions diverses, la valeur du coefficient d'élasticité et, par suite, de *n* qu'il convient d'adopter, est celle qui correspond au début de la période des accroissements lents d'affaissement, les quelques observations qui précèdent, s'il y en a, devant être regardées comme moins exactes, car, vu leur petitesse même, l'inertie du manomètre, du piston et de l'appareil lui-même, jouent relativement un rôle important.

Nous basant sur ces raisonnements, nous voyons que, suivant leur qualité, les ciments ont un coefficient d'élasticité qui est compris entre $2{,}76 \times 10^9$ et $0{,}94 \times 10^9$, c'est-à-dire que, le coefficient d'élasticité du fer étant de 20×10^9, la valeur de *n* oscille entre 7,24 et 21,20 pour les échantillons mentionnés sur ce tableau.

On remarquera que la valeur maximum de *n* correspond au ciment de plus mauvaise qualité et par son dosage et par son mode de gâchage, et par son insuffisance de durcissement (c'est le n° 1, dosé à 400 *kg*, gâché à la main et exposé à l'air; il a rompu à 70,60 *kg*). La valeur minimum de *n* a été donnée, au contraire, par l'échantillon n° 4, dosage 700 *kg*, gâché mécaniquement et plongé dans l'eau chaude pour accélérer le durcissement; il a rompu à 107,66 *kg*.

M. Durand-Claye trouve :

Pour un dosage d'environ 375 *kg*, $E_c = 0{,}97 \times 10^9$
— — 750 *kg*, $= 2{,}40 \times 10^9$

Nous trouvons :

Pour un dosage d'environ 400 *kg*, $E_c = 0{,}94 \times 10^9$
— — 700 *kg*, $= 2{,}76 \times 10^9$

Nous disons des dosages *d'environ* 375 *kg* ou 750 *kg*, parce que ces derniers sont rapportés au poids du sable, ce qui laisse une petite incertitude, pour les ramener au mètre cube de sable.

Les valeurs de *n* correspondantes doivent être augmentées de 10 0/0, si on rapporte les coefficients d'élasticité non plus au fer, dont le module est 20×10^9, mais à l'acier, dont le module est de 22×10^9.

Nous pensons, d'après le résultat de ces expériences, que la va-

leur de n peut être prise entre 10 et 20, suivant que le mortier de ciment a été dosé à 700 *kg* ou à 400 *kg*.

Ces chiffres sont relatifs à des mortiers jeunes, tels qu'ils seront dans la pratique quelque temps après le démoulage des planchers. Ultérieurement, n diminuerait, mais comme R_C augmente sensiblement, la marge de sécurité ne fera que s'accroître.

CHAPITRE VIII

Calcul des poutres.

Soit une poutre hétérogène déterminée par sa semelle comprimée C, sa semelle tendue M, et la distance h des centres de gravité de ces deux dernières (*fig. 27*).

Nous supposons que l'axe des fibres neutres a été déterminé par l'équation (3) :

$$\frac{v'}{v} = \frac{nM}{C} \text{ (} n \text{ étant pris égal à 20).} \qquad (3)$$

Le moment d'inertie général I est la somme des moments d'inertie I_C et I_M des semelles respectives par rapport à l'axe des fibres neutres, et ces derniers se composent du moment d'inertie i_C ou i_M de ces semelles par rapport à l'axe qui passe par leur centre de gravité, augmenté du produit de leur section, C ou M, par le carré de la distance de leur centre de gravité à l'axe des fibres neutres, v'^2 ou v^2. — Toutefois, il ne faut pas oublier que ce n'est pas la section M du métal qu'il faut considérer, mais la section nM. On a donc :

Fig. 27.

$$I = i_C + Cv'^2 + ni_M + nMv^2.$$

On en déduit pour le $\frac{I}{v}$ moyen du ciment :

$$\frac{I}{v'} = \frac{i_C}{v'} + Cv' + \frac{ni_M}{v'} + \frac{nMv^2}{v'},$$

et comme d'après (3) $nMv = v'C$ ou $\frac{nMv^2}{v'} = Cv$,

il vient:
$$\frac{I}{v'} = Cv + Cv' + \frac{i_C}{v'} + \frac{ni_M}{v'},$$

ou:
$$\frac{I}{v'} = Ch + \frac{i_C + ni_M}{v'},$$

ou enfin:
$$\frac{I}{v'} = Ch + a,$$

en appelant a le binôme $\frac{i_C + ni_M}{v'}$.

On démontrerait identiquement de même que le $\frac{I}{v}$ moyen du métal est exprimé par :

$$\frac{I}{nv} = Mh + b,$$

en appelant b le binôme $\frac{i_C + ni_M}{nv}$.

Les seconds termes a et b sont généralement assez faibles par rapport aux premiers Ch et Mh, pour qu'on puisse les négliger en pratique.

Remarquons que les erreurs relatives $\frac{i_C + ni_M}{v'Ch}$ et $\frac{i_C + ni_M}{nMvh}$ sont identiques, puisque toujours, d'après l'équation (3), $v'C = nMv$. — En outre, en négligeant ces binômes a et b, on commet une erreur par défaut, qui donne par suite une petite marge de sécurité.

On voit aussi que cette erreur relative est d'autant plus faible que h et v sont plus grands; c'est donc pour de très faibles hauteurs qu'il est intéressant de se rendre compte de l'importance des termes négligés.

Nous allons donc appliquer ces calculs à des dalles, c'est-à-dire à des solides dans lesquels le métal est logé à l'intérieur même de la semelle en ciment, ce qui correspond aux plus faibles valeurs de h.

Dans ce cas, la détermination de l'axe des fibres neutres n'est pas tout à fait aussi simple, car l'on ne connaît pas *a priori* l'épaisseur réelle de ciment qui travaille à la compression.

Soit x cette épaisseur, M la section de métal par mètre de longueur *(fig. 28)*.

Comme c'est l'axe neutre XY qui établit la limite entre le ciment

comprimé et celui qui travaille à l'extension, cette épaisseur x devra satisfaire à l'équation :

$$x \times \frac{x}{2} = n\text{M}(\text{H} - x),$$

H représentant l'épaisseur de la dalle au-dessus du centre de gravité du métal.

De cette équation, l'on tire :

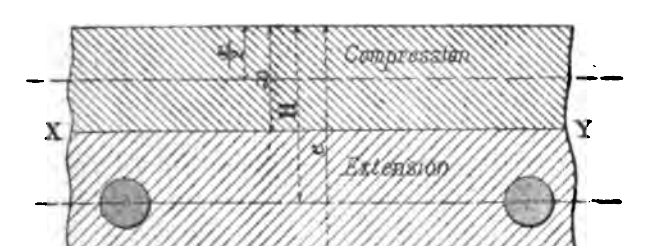
$$x = -n\text{M} + \sqrt{n^2\text{M}^2 + 2n\text{MH}} \qquad (6)$$

Appliquons ces formules à des dalles de hauteurs différentes, pour lesquelles on emploiera 10 fers par mètre *(fig. 5)*.

1° 10 fers de 24 × 10 en I, section 0,000871 ;

2° 10 fers ronds de 0,01038 *m* de diamètre, section 0,000871.

Fig. 28.



Les extrémités de ces fers étant situées, dans les deux cas, à 0,01 *m* au-dessus de l'arête inférieure de la dalle.

Nous ferons ces calculs pour des épaisseurs de dalles de :

0,05 *m*, 0,06 *m*, 0,07 *m* et 0,09 *m* (voir les résultats au tableau suivant).

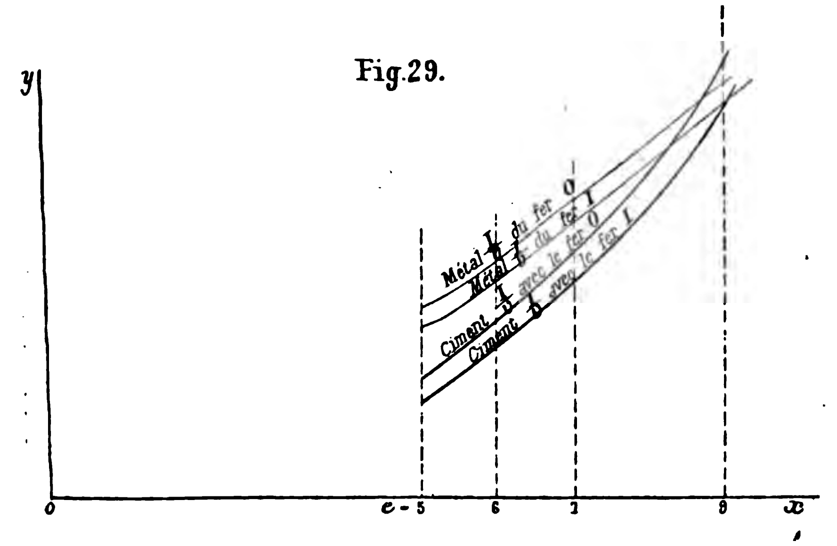
Ce tableau montre que, pour le profil qui nous intéresse, c'est-à-dire le fer rond, les erreurs relatives $\frac{a}{\text{C}h + a}$ et $\frac{b}{\text{M}h + b}$ atteignent 14,5 0/0 pour la plus petite valeur de h, $h = 0,024$ *m*, et descendent déjà à 9,95 0/0 pour $h = 0,0565$.

Pour les poutres de planchers, pour lesquelles la valeur de h est beaucoup plus grande, elles ne s'élèvent qu'à 2 ou 3 0/0. — Ces erreurs sont donc tout à fait négligeables en pratique ; on les négligera d'autant plus volontiers qu'elles sont défavorables, et que, d'autre part, les $\frac{\text{I}}{v}$, sous la forme Mh et Fh, deviennent d'une simplicité remarquable.

ÉPAISSEUR des DALLES	$x = C$		v'		v		h		$\frac{I}{v'}$	ERREUR RELATIVE a ou b	$\frac{I}{v'}$	ERREUR RELATIVE a ou b	$\frac{I}{v}$		AVANTAGE DU FER ROND sur le fer I	
	I	●	I	●	I	●	I	●	I		●		I	●	Ciment	Métal
m	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*	*m*		0/0		0/0			0/0	0/0
0,05	0,018	0,0215	0,009	0,01075	0,010	0,0133	0,019	0,024	$Ch = 0,000342$ $a = 0,000131$ $\frac{I}{v'} = 0,000473$	27,6	$Ch = 0,000517$ $a = 0,000088$ $\frac{I}{v'} = 0,000605$	14,5	$Mh = 0,00001655$ $b = 0,00000585$ $\frac{I}{v} = 0,00002240$	0,00002095 0,00000354 0,00002449	27,8	8,55
0,06	0,02292	0,02576	0,01146	0,01288	0,01508	0,019	0,0265	0,0319	$Ch = 0,000608$ $a = 0,000148$ $\frac{I}{v'} = 0,000756$	19,6	$Ch = 0,000821$ $a = 0,000119$ $\frac{I}{v'} = 0,000940$	12,6	$Mh = 0,0000231$ $b = 0,0000056$ $\frac{I}{v} = 0,0000287$	0,0000277 0,00000405 0,00003175	24,4	10,6
0,07	0,027	0,02953	0,01350	0,01476	0,021	0,0253	0,0345	0,040	$Ch = 0,000931$ $a = 0,000173$ $\frac{I}{v'} = 0,001104$	15,6	$Ch = 0,001182$ $a = 0,000153$ $\frac{I}{v'} = 0,001335$	11,4	$Mh = 0,00003005$ $b = 0,00000555$ $\frac{I}{v} = 0,0000356$	0,00003485 0,00000447 0,00003932	20,8	10,4
0,09	0,03428	0,03653	0,01714	0,01826	0,0345	0,0383	0,05086	0,0565	$Ch = 0,001743$ $a = 0,000236$ $\frac{I}{v'} = 0,001980$	11,9	$Ch = 0,0020661$ $a = 0,000228$ $\frac{I}{v'} = 0,002294$	9,95	$Mh = 0,0000443$ $b = 0,0000060$ $\frac{I}{v} = 0,0000503$	0,0000492 0,0000054 0,0000546	15,6	8,5

N. B. — Il suffit de se reporter à la *figure 5* qui représente à l'échelle ces quatre cas, pour voir que, dans le premier cas, l'axe neutre tombe à l'intérieur du fer à double T et, par conséquent, le $\frac{I}{v}$ calculé de ce fer n'est pas applicable en totalité. L'avantage du fer rond est donc, dans ce cas, bien supérieur à 8,55 0/0.

On remarquera, en outre, par la figure 29, en comparant les résultats donnés par les fers I et les fers ronds, que les $\frac{I}{v}$ des fers ronds sont toujours plus élevés que ceux du fer à I, bien que le moment d'inertie des premiers par rapport à leurs centres de



gravité soit environ 7 fois plus grand (0,000 000 000 587 pour le fer rond et 0,000 000 003 456 pour le fer I).

Mais ce qui est remarquable, c'est que le ciment bénéficie plus largement encore de la forme du fer, sous le rapport de son moment d'inertie; ceci provient de l'abaissement de la fibre neutre, duquel résulte une tranche sensiblement plus grande de ciment travaillant à la compression.

Première application du calcul à un plancher.

Avant de développer davantage le calcul des poutres, nous allons appliquer les méthodes exposées à un des planchers que nous avons été chargé d'établir pour la fabrique de ciments de Portland artificiels de M. Candlot.

Nous ne reviendrons pas sur la description de ce plancher qui est, d'ailleurs, conforme à celle que nous avons donnée au chapitre VI.

L'épaisseur du plancher est de 6 *cm*; il est armé d'un treillis en

fil de fer de 4 *mm*, à mailles de 10 *cm*. La distance *h* des centres de gravité des deux semelles est de 23,5 *cm*.

La semelle inférieure est constituée par une barre de *fer* de 16 *mm* de diamètre (2,01 *cm*² de section), qui se répète tous les 65 *cm*, encadrée par une poutrelle de 5 *cm* d'épaisseur. Ces barres sont, en outre, réunies au treillis du plancher par des attaches en fils de 4 *mm* se répétant tous les 10 *cm*. Enfin, la poutrelle renferme, à sa partie supérieure, une barre de 14 *mm* de diamètre.

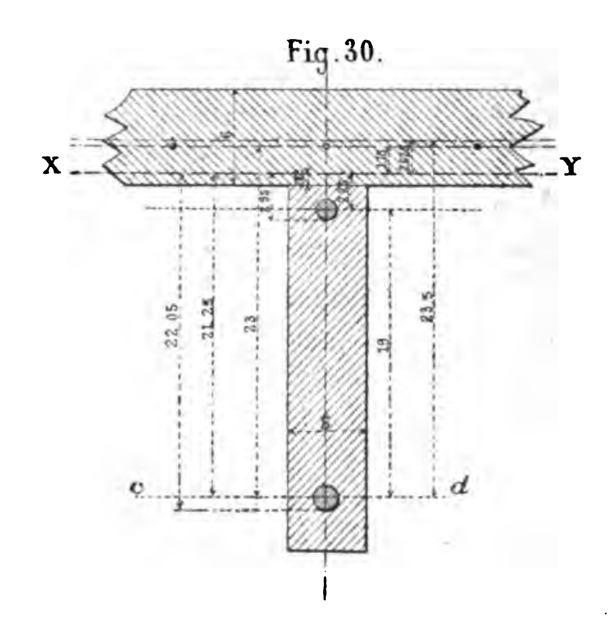
Les données étaient les suivantes :

Portée	3,90 *m*
Largeur	3,80 *m*
Surcharge	150 *kg*

Dans le but d'établir une plus juste comparaison entre les résultats de la pratique et ceux qu'indique la théorie, nous ne négligerons cette fois aucun des éléments du problème, c'est-à-dire que nous tiendrons compte même du treillis du plancher et de la barre de 14 *mm* logée à la partie supérieure de la poutrelle.

Détermination de l'axe des fibres neutres. — Un calcul préalable nous a appris que l'axe des fibres neutres se trouvait à une faible

Fig. 30.



distance au-dessus du sommet des poutrelles. Soit x cette distance (*fig. 30*).

Si l'on prend pour axe des moments la ligne *cd*, les diverses sections à considérer et leur distance à l'axe des moments sont, pour les cinq poutrelles réunies et une largeur de plate-bande de 3,22 *m*:

	Sections.	Distance à l'axe des moments.
C plate-bande	$322(6-x)$	$23{,}5+\frac{x}{2}$
m' (32 fils transversaux de 4 *mm*)	4 *cm*	23 *cm*
m (5 barres de 14 *mm*)	7,70	19
M (5 barres de 16 *mm*)	10,05	0

La valeur de x peut se tirer de l'équation :

$$v=20{,}5+x=\frac{322(6-x)\left(23{,}5+\frac{x}{2}\right)+(4\times 23)n+(7{,}7\times 19)n}{322(6-x)+4n+7{,}7n+10{,}05n}.$$

D'où l'on tire, en faisant $n=20$:

$$x=7{,}35-\sqrt{54{,}0225-10{,}46}=0{,}75\,cm,$$

et par suite : $v=21{,}25$.

On en déduit le second tableau suivant :

	Sections.	Distance des centres de gravité à l'axe des fibres neutres.	Distance de la fibre la plus éloignée à l'axe des fibres neutres.
C	$322\times 5{,}25$	$+\ 2{,}625$	$+\ 5{,}25$
m'	4	$+\ 1{,}75$	$+\ 1{,}95$
m	7,70	$-\ 2{,}25$	$-\ 2{,}95$
M	10,05	$-21{,}25$	$-22{,}05$

Le moment d'inertie général I s'obtient en faisant la somme des moments d'inertie des diverses sections par rapport à l'axe des fibres neutres :

$$\mathrm{I}=$$

$$\left.\begin{array}{lr} 20\times 32\times\frac{\pi}{64}\times\overline{0{,}4}^4= \ldots & 0{,}80 \\ +20\times 32\times\frac{\pi}{4}\times\overline{0{,}4}^2\times\overline{1{,}75}^2 & 249{,}13 \end{array}\right\}\ \mathrm{I}_{m'}=\ 249{,}93$$

$$\left.\begin{array}{lr} +\frac{322\times\overline{5{,}25}^3}{12}= \ldots & 3\,882{,}87 \\ +322\times 5{,}25\times\overline{2{,}625}^2= \ldots & 11\,648{,}60 \end{array}\right\}\ \mathrm{I}_{C}=15\,531{,}47$$

$$\left.\begin{array}{lr} +20,5\times\frac{\pi}{64}\times\overline{1,4}^4 = \ldots\ldots & 18,85 \\ +20,5\times\frac{\pi}{4}\times\overline{1,4}^2\times 2,25 = \ldots & 779,31 \end{array}\right\} I_m = 798,16$$

$$\left.\begin{array}{lr} +20\times 5\times\frac{\pi}{64}\times\overline{1,6}^4 = \ldots\ldots & 32,17 \\ +20\times 5\times\frac{\pi}{4}\times\overline{1,6}^2\times\overline{21,25}^2 = & 90\,792,24 \end{array}\right\} I_M = 90\,824,41$$

$$I = 107\,403,97$$

Remarquons cependant que, si l'on veut considérer le fer seul, son moment d'inertie réel est de $\frac{107\,403,97}{n} = 5\,370$.

L' $\frac{I}{v}$ de la semelle travaillant à l'extension est donc :

$$\frac{I}{22,05\times n} = \frac{107\,403,97}{20\times 22,05} = 243,5.$$

L' $\frac{I}{v}$ de la semelle comprimée, par suite de la faible proportion de métal qui s'y rapporte, est approximativement de :

$$\frac{I}{5,25} = \frac{107\,403,97}{5,25} = 20\,458.$$

Mais si l'on voulait tenir compte de cette proportion, si faible qu'elle soit, on pourrait le faire en supposant par la pensée la poutre composée de deux poutres, ayant même axe des fibres neutres que la poutre réelle : l'une d'elles ayant pour semelles C et une partie correspondante de M; l'autre m' et m, augmentée ou diminuée de la quantité voulue pour ne pas faire varier la position de l'axe des fibres neutres.

Autrement dit, on doit avoir :

$$I_{m'} = m'v_m^2,$$
$$I_m = mv_m^2.$$

Mais, pour conserver le même axe neutre, il faut que l'on ait

$$m'v_{m'} = m_1 v_m,$$

d'où :

$$m_1 = \frac{m'v_{m'}}{v_m};$$

remplaçant m' par $\frac{I_{m'}}{v_{m'}^2}$, il vient :

$$m_1 = \frac{I_{m'}}{v_{m'}v_m}$$

et, par suite : $$I_{m_1} = m_1 v_m^2 = \frac{I_{m'} v_m^2}{v_{m'} v_m}$$

ou : $$I_{m_1} = I_{m'} \times \frac{v_m}{v_m}.$$

Si nous appliquons cette règle au cas présent, où :

$$I_{m'} = 249,93$$
$$v_m = 2,25$$
$$v_{m'} = 1,75$$

on a : $$I_{m_1} = 249,93 \times \frac{2,25}{1,75} = 321,34.$$

Le moment d'inertie de la première poutre (CM_1) n'est plus que :

$$107\,403,97 - (321,34 + 249,93) = 106\,832,70$$

et celui de la deuxième poutre $m'm_1$:

$$321,34 + 249,93 = \quad 571,27$$
$$\Sigma = 107\,403,97$$

La semelle supérieure a pour $\frac{I}{v}$:

$$\frac{106\,832,70}{5,25} = 20\,349,08 \text{ pour le ciment,}$$
$$\frac{571,27}{20 \times 5,25} = \quad 5,44 \text{ pour le fer.}$$

La semelle inférieure a pour $\frac{I}{v}$:

$$\frac{106\,832,70}{20 \times 22,05} = 242,25 \text{ pour M,}$$
$$\frac{571,27}{20 \times 22,05} = \quad 1,29 \text{ pour } m,$$
$$\Sigma = 243,54$$

Si donc nous prenons comme coefficients pratiques :

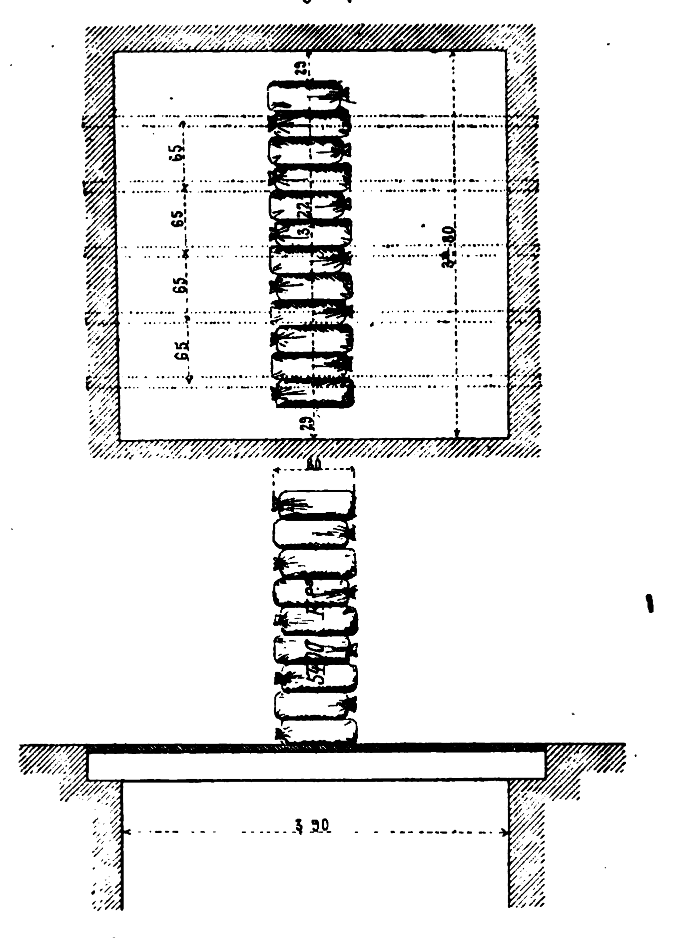
$R_C = \quad 20$ *kg* par centimètre carré pour le ciment,
$R_F = 1000$ *kg* par centimètre carré pour le fer,

la résistance de la semelle supérieure sera :

$$\left.\begin{array}{l}\frac{1}{100}\times 20\,349{,}08\times 20\,kg = 4\,063{,}816 \\ +\frac{1}{100}\times 5{,}44\times 1\,000\,kg = 54{,}400\end{array}\right\} = 4\,124{,}216\ kgm$$

(Nous introduisons le coefficient $\frac{1}{100}$, car tout étant rapporté au centimètre, pour avoir des kilogrammètres, il faut diviser par 100).

Fig. 31.



La résistance de la semelle inférieure sera :

$$\frac{1}{100}\times 243{,}54\times 1\,000\,kg = 2\,435{,}4\ kgm$$

Ces résultats montrent l'excédent considérable de résistance de

la semelle supérieure par rapport à celle de la semelle inférieure. On s'est écarté, en effet, des proportions rationnelles que nous exposerons bientôt, en exagérant volontairement pour des raisons pratiques l'épaisseur du plancher, qui, pour de si faibles surcharges, devait être beaucoup moins forte.

Comparaison des résultats du calcul et de l'expérience. — La *figure 31* indique de quelle facon l'essai a été fait ; la surcharge était représentée par des sacs de ciment pesant 50 *kg*. Une rangée continue de ces sacs a été placée normalement aux cinq poutrelles qui supportent le plancher et exactement au droit de leur milieu. Cette première rangée comprenait douze sacs pesant ensemble 600 *kg*, occupant une largeur de 0,80 *m* et une longueur de 3,22 *m*, et, par suite, s'arrêtant à 0,29 *m* des murs.

Le moment de cette surcharge est :

$$\mu = \frac{P}{8}(2 \times 3{,}90\,m - 0{,}80\,m) = \frac{7}{8}P,$$

ou :
$$\mu = \frac{7}{8}\,600\,kg \text{ par rangée de 12 sacs} = 525\ kgm.$$

D'autre part, le poids mort relatif à la surface intéressée (3,22 *m* × 3,90 *m*) peut être établi comme suit :

Ciment du plancher :
$3{,}22\,m \times 3{,}90\,m \times 0{,}06\,m = 753{,}50\ l$
Ciment des poutrelles :
$5 \times 0{,}24 \times 0{,}05 \times 3{,}90 = 234\ »\ l$
} $987{,}50\ l \times 2{,}2\,kg = 2172{,}50\,kg$

Ossature du plancher :
20 *m* de fils de 4 *mm* par mètre carré, soit 2 *kg*
ou 12,56 $m^2 \times 2\,kg$ + ligatures = 26 » *kg*
Ossature des poutrelles :
5 fers de 16 à 1,57 *kg* = 5 × 3,90 *m* × 1,57 *kg* = 30,60 *kg*
5 fers de 14 à 1,20 *kg* = 5 × 3,90 *m* × 1,20 *kg* = 23,40 *kg*
200 attaches de 0,8 *m* ou 4 *mm* — 160 *m* pour 16,00 *kg*
} 96 » *kg*

Poids total = 2268,50 *kg*

Ce poids sur 3,22 *m* × 3,90 *m* = 12,56 m^2 représente 180 *kg* par mètre carré.

Le moment du poids mort est donc :

$$\mu' = \frac{2\,268{,}50\,kg \times 3{,}9}{8} = 1\,106\ kgm.$$

Pour deux rangées de sacs, le moment total était donc de :

$$2 \times 525 \; kgm + 1\,106 \; kgm = 2\,156 \; kgm.$$

Le moment total répondant aux charges normales était pour une charge de 180 *kg* et une surcharge de 150 *kg*, dont la somme est 330 *kg* :

$$\frac{330 \; kg \times 12{,}56 \; m^2 \times 3{,}9}{8} = 2\,020 \; kgm.$$

Deux rangées de sacs disposées comme nous l'avons décrit représentaient donc une fatigue un peu plus forte que celle qui était prévue. Néanmoins, les flèches prises par les poutres étaient nulles.

On eut beau amonceler rangées sur rangées, la flèche restait absolument insensible, et ceci jusqu'à la neuvième rangée, représentant 4,5 fois la surcharge normale, pour laquelle on put observer, sur les repères placés sous les poutrelles, un abaissement n'atteignant guère que 1/2 *mm*. On n'arrêta de charger que parce que l'une des poutrelles, se trouvant au droit d'une baie, faisait travailler, d'une façon inquiétante, cette petite voûte encore fraîche.

Cependant, si l'on ajoute au moment de la surcharge 9 × 525 *kgm* = ... 4 725 *kgm*
le moment dû au poids propre. . . . . 1 106 *kgm*
on trouve un moment total de. . . . . 5 831 *kgm*

Dans ces conditions, le travail du ciment était de :

$$20 \; kg \times \frac{5\,831}{4\,124} = 28{,}30 \; kg,$$

et le travail du fer était de :

$$10 \; kg \times \frac{5\,831}{2\,435} = 23{,}93 \; kg.$$

Or, il n'est pas possible d'admettre que le fer ait travaillé à 26,93 *kg*, puisque la flèche accusée est absolument négligeable.

Nous allons donc rechercher quelles pourraient être les causes de nature à entacher d'erreur ce résultat et quelle peut en être l'importance.

Y a-t-il d'abord une erreur dans le calcul du travail du fer?

Si, au lieu de considérer une poutre hétérogène, nous concevons une poutre homogène, en fer, de même hauteur, 23,5 *cm* de centre

a centre des semelles, et à semelles symétriques ayant chacune comme section la section totale de nos cinq barres de 16 *mm*, soit 10,05 cm^2, le $\frac{I}{v}$ approximatif de cette poutre sera de :

$$10,05 \times 23,5 = 236,175.$$

Or, l' $\frac{I}{v}$ qui résulte de nos considérations sur la poutre hétérogène est de 243,54 ; on voit donc que l'écart n'est pas considérable.

Si, d'autre part, nous poursuivons la comparaison au point de vue de la déformation, et si, pour simplifier les calculs, nous supposons la surcharge concentrée au milieu des poutres, au lieu de s'étendre sur une partie centrale de 0,80 *m* (ce qui n'introduit qu'une erreur de peu d'importance dans le cas présent), la poutre en fer devrait accuser la flèche suivante pour la surcharge de 5 400 *kg* :

$$f = \frac{1}{48} \times \frac{1}{EI}\left(\frac{5}{8} \times 2\,268,5\,kg \times 5\,400\,kg\right) \times \overline{3,9}^3.$$

Or : $$I = 10,05 \times \overline{23,5}^2 \times \frac{1}{2} = 2\,775$$

ou en mètres : $$I = 0,00002775$$

$$E = 20 \times 10^9$$

d'où : $$EI = 555\,000$$

et par suite $f = 15,2$ *mm* (en admettant, bien entendu, que le fer n'ait pas dépassé la limite d'élasticité).

Pour le solide hétérogène, en ce qui concerne le fer, c'est exactement le même calcul, il suffit dans l'expression de f de remplacer I par la valeur que nous avons trouvée :

$$I = 5\,370 \text{ ou en mètres } I = 0,00005370.$$

La flèche accusée par le fer de la poutre hétérogène devrait être donc de :

$$15,2\,mm \times \frac{2\,775}{5\,370} = 7,85\,mm.$$

Ici, l'écart est considérable, mais il n'a pas lieu de nous surprendre ; il provient de la différence des moments d'inertie. D'ailleurs, toutes choses égales, la flèche est en raison inverse de la distance de la semelle à l'axe des flèches neutres ; elle est de

$\frac{1}{2} \times 0,235 = 0,1175$ dans la poutre homogène à semelles symétriques ; elle a été trouvée égale à 21,25 et même 22,05 pour la flèche la plus éloignée dans la poutre hétérogène, soit presque le double.

Ainsi donc, et ce fait est à noter d'une façon particulière, à hauteur égale les poutres en ciment avec ossature métallique doivent théoriquement accuser des flèches notablement plus faibles que les poutres homogènes symétriques, par suite de l'élévation considérable de l'axe des fibres neutres dans les premières.

Mais si l'élévation de l'axe des fibres neutres a pour effet de réduire la flèche, comme cette élévation résulte en partie de la valeur attribuée à n, il convient d'examiner dans quelles limites les variations de n peuvent déplacer cet axe.

La valeur de v nous est donnée approximativement par :

$$v = \frac{322 \times 6 \times 23,5}{322 \times 6 + n \times 10,05} = \frac{45\,402}{2\,132 + 10,05\,n}$$

pour $n = 20$: $v = 19,4.$

Nous avons trouvé en tenant compte de tous éléments :

$$v = 21,25.$$

Pour ne pas recommencer tous les calculs laborieux du début, on peut donc se contenter de l'expression précédente qui ne tient compte que des fers de 16 *mm*.

Si nous donnons à n une valeur n', on aura :

$$v' = \frac{45\,402}{2\,132 + 10,05\,n'}$$

on aurait de même pour une valeur n'' :

$$v'' = \frac{45\,402}{2\,132 + 10,05\,n''}$$

D'où :

$$\frac{v'}{v''} = \frac{2\,132 + 10,05\,n'}{2\,132 + 10,05\,n''}$$

et si l'on fait $n' = 10 \quad n'' = 20 \quad \frac{v'}{v''} = \frac{2\,132 + 201}{2\,132 + 100,5} = 1,04$

$n' = 40 \quad n'' = 20 \quad \frac{v'}{v''} = \frac{2\,132 + 201}{2\,132 + 402} = 0,92$

Les flèches étant dans le rapport inverse $\frac{v}{v''}$, on voit que si l'on devait faire $n = 10$, au lieu de $n = 20$, on aurait une flèche plus

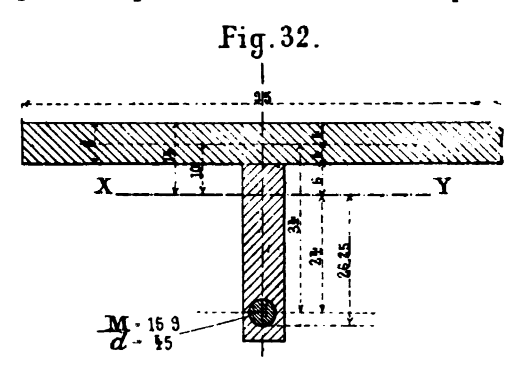
petite de 4 0/0 seulement et si, au contraire, on prenait $n = 40$ au lieu de $n = 20$, on aurait une flèche plus grande de 8 0/0. L'erreur commise en raison d'une estimation erronée de la valeur de n ne peut donc expliquer les écarts considérables que nous avons encore à justifier.

Toute idée d'encastrement partiel, susceptible de réduire la flèche d'une façon sensible, doit être écartée par suite du mode même de construction du plancher.

Deuxième exemple.

Nous donnerons, comme second exemple, une poutre d'une portée plus considérable, et accusant par suite à l'observation des flèches sensibles, ce qui nous permettra de mieux comparer ces dernières aux flèches calculées.

Fig. 32.



Il s'agit d'une poutre de plancher, dont la plate-bande de 0.08 *m* d'épaisseur avait en largeur 0,95 *m*, armée d'une barre de fer de 45 *mm* de diamètre à une distance $h = 0{,}34$, d'après la *figure 32*.

Quatre poutres semblables, faisant partie d'un plancher, ont été chargées en leur milieu, sur une bande centrale de 1,60 *m* de largeur.

Les diverses données et les résultats du calcul sont les suivants :

Poids mort		1 060 *kg*
Surcharge.		6 250 *kg*
Hauteur de la poutre.		0,34 *m*
Section des fers	4 × 0,00159	0,00636
Valeur de v.		0,24
$\frac{I}{r}$ des fers.	0,00636 × 0,34	0,00216
I.	0,00216 × 0,24	0,0052

Moment du poids mort. . $\frac{1\,060\,kg \times \overline{8}^2}{8} =$ 8 480 *kgm*

Moment du poids de la surcharge :

$$6\,250\,kg \times \frac{2 \times 8\,m - 1{,}60\,m}{8} = 1{,}8\,P = \quad 11\,250\,kgm$$

Moment total . . . . 19 730 *kgm*

Flèche relative à la surcharge, 6250 *kg*.

$$\frac{1}{48}\left(\frac{5}{8} \times 1\,060\,kg \times 8\,m + 6\,250\,kg \times \frac{1{,}8}{2}\right) \times \frac{\overline{8}^3}{EI} = 11{,}20\,mm$$

$$(E = 20 \times \overline{10}^2)$$

Les flèches observées ont été les suivantes, sur les quatre poutres, A, B, C, D :

Surcharges.	A	B	C	D
6 250 *kg*	4*mm*	5*mm*	5*mm*	3*mm*
8 250	5	7	7	4,5
9 250	6	8,5	8	5
10 250	7	9,75	9	6
11 250	8	11,50	11	7

De l'inspection de ce tableau, il résulte que les poutres intermédiaires B et C ont porté une fraction plus grande que les autres, fraction exprimée par le rapport $\frac{11{,}5 + 11}{8 + 11{,}5 + 11 + 7} = 0{,}60$ ou 60 0/0, tandis qu'il n'avait été prévu que 50 0/0. Tout revient donc comme si les poutres avaient porté des charges totales plus grandes de 20 0/0.

Appliquant les formules précédentes relatives aux moments totaux et aux flèches corrrespondantes, on trouve, en tenant compte de cette majoration de 20 0/0, les moments, les flèches et les travaux suivants :

Moments.	Flèches calculées.	Flèches observées.	Rapport direct des flèches.	Travaux du fer calculés.	Travaux du fer réels.	Rapport inverse des travaux.
23 676 *kgm*	13,45	5	2,69	10,90	4,05	37,20 0/0
27 996	15,65	7	2,22	12,90	5,75	44,50
30 156	16,75	8,50	1,97	13,90	7,05	56,30
32 316	17,90	9,75	1,83	14,90	8,10	57,50
34 476	19,00	11,50	1,65	15,90	9,60	60,50

Ainsi donc, non seulement nous avons la marge de sécurité qui sépare le travail normal du fer 9 à 10 *kg*, de celui qui répond à

sa limite d'élasticité, comme dans tous les ouvrages métalliques, mais encore suivant l'importance des charges, nous bénéficions encore de la réduction du travail du fer par suite de causes que nous expliquerons bientôt, et qui soulagent ce dernier dans la proportion de $\frac{1}{2,69}$ ou de $\frac{1}{1,65}$ suivant l'importance des charges, le premier coefficient correspondant déjà à des charges plus fortes que les charges normales, et le dernier à des charges environ 75 0/0 plus fortes que ces dernières.

Ces résultats remarquables s'observent d'ailleurs sur des poutres de tout autre système; nous pouvons citer à cet effet une expérience faite au laboratoire de Lausanne avec une poutre construite par M. Hennebique.

Troisième exemple.

La poutre reposant librement sur deux appuis distants de 5,26 *m* était constituée par une semelle supérieure de 1,50 *m* par 0,08 *m* et deux fers de 30 *mm* de diamètre (ayant ensemble une section de 14,14 cm^2). La distance *h* entre les centres de gravité des deux semelles était de 0,20 *m*.

Le moment d'inertie du fer, Mh, est donc égal à :

$$14,14 \times 20 = 282,8.$$

Le travail du fer, calculé d'après l' $\frac{I}{v}$ précédent est de :

$$R = \frac{Pl}{8 \times \frac{I}{v}} = \frac{P \times 5,26\,m}{8 \times 282,8} = 2,32\ P.$$

Ce qui nous donne pour des charges uniformément réparties de :

P =	2 000 *kg*	3 000 *kg*	4 000 *kg*	5 000 *kg*
R =	4,64 *kg*	6,96 *kg*	9,28 *kg*	11,60 *kg*

Or le travail, calculé d'après les allongements accusés par un appareil établi *ad hoc*, était de :

R′ =	0,74 *kg*	2,40 *kg*	3,80 *kg*	5,40 *kg*

D'où la différence :

R — R′ =	3,90 *kg*	4,56 *kg*	5,48 *kg*	6,20 *kg*

On remarquera que si ces différences augmentent d'une façon absolue avec les charges, le rapport entre le travail absorbé par

des causes étrangères au fer et le travail supposé de ce dernier est respectivement de :

84 0/0 65 0/0 59 0/0 53,5 0/0.

D'autre part, la flèche qu'indiquerait la théorie serait représentée par :

$$f = \frac{5}{384} \frac{Pl^3}{EI},$$

$l^3 = \overline{5,26}^3 = 145,13,$

$E = 20 \times \overline{10}^9,$

$I = \frac{I}{v} \times v = 0,0002828 \times 0,16 = 0,000045.$

D'où :

$f = \frac{5}{384} \times \frac{145,13}{900\,000} P = 0,0021\, P$ (f étant exprimée en millimètres).

On peut donc dresser le tableau suivant :

Charges.	Travaux.	Flèches calculées.	Flèches observées.
2 000 *kg*	4,64 *kg*	4,2 *k*	1 *mm*
3 000	6,96	6,3	2
4 000	9,28	8,4	3
5 000	11,60	10,5	4

Bien donc que nous n'ayons que des renseignements incomplets sur cette épreuve, nous trouvons des écarts analogues à ceux que nous avons constatés dans nos propres expériences.

Mais si, au lieu de calculer les flèches d'après les efforts présumés R, on les calcule d'après l'effort relevé par expérience, R', c'est-à-dire par l'appareil appliqué directement au fer, on a le nouveau tableau :

Charges.	Flèches théoriques.	Flèches observées.
2 000 *kg*	0,67 *mm*	1 *mm*
3 000	2,17	2
4 000	2,72	3
5 000	4,90	4

Nous nous rapprochons beaucoup des flèches observées avec l'évaluation de $n = 20$, et il est probable que nous nous en rapprocherions davantage si les flèches observées avaient été relevées

avec plus de précision, ce qui ne paraît pas être le cas, car le

Fig. 33.

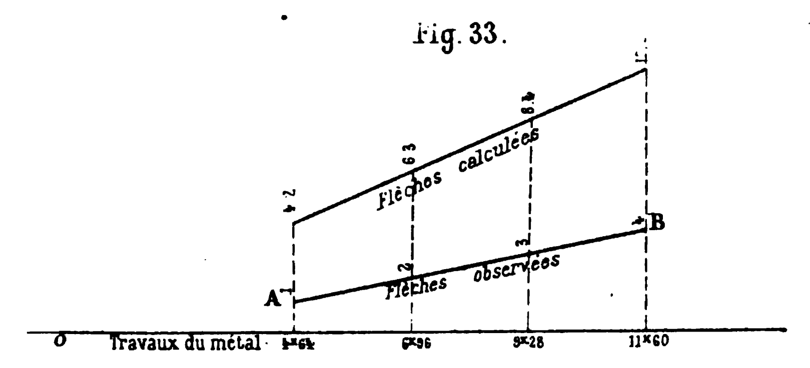


diagramme *(fig. 33)* montre que la ligne AB des flèches observées est loin de passer par l'origine O.

Mode de détermination de la valeur de n. — C'est même une expérience précise de ce genre qui pourrait éclairer le mieux sur la valeur de n. On sait, en effet, que l'expression de la flèche peut être mise sous la forme :

$$f = \frac{5}{48} \times \frac{Rl^3}{Ev},$$

dans le cas d'une charge uniformément répartie. On obtient cette expression en combinant les deux équations :

$$\left.\begin{aligned} f &= \frac{5}{384}\frac{Pl^3}{EI} \\ \text{et} \quad R\frac{I}{v} &= \frac{Pl}{8} \end{aligned}\right\} \text{ P étant la charge uniformément répartie.}$$

Si donc on connaît R et f par expérience, on peut déduire v de la première de ces équations, or, comme d'autre part l'on a :

$$v \times nM = C\,(h - v),$$

on peut calculer n de cette façon.

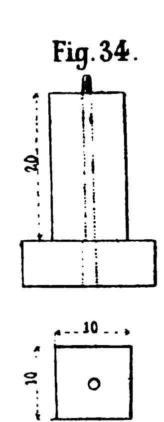
Explication de l'écart entre l'expérience et le calcul. — Nous venons de voir qu'il y avait un écart considérable entre les résultats donnés par la pratique et ceux qui résultent du calcul. C'est donc que les éléments dont on n'a pas tenu compte dans ce dernier ont une importance qui est loin d'être négligeable.

L'axe neutre, dans une poutre hétérogène se trouvant généralement tout près de la semelle comprimée, le ciment de la poutrelle travaille à l'extension. Ce travail n'est pas négligeable, et

par suite de la grande section de ciment par rapport à celle du métal, et parce que, adhérant très fortement à ce dernier, il est obligé d'en suivre les allongements et, par conséquent de se fatiguer jusqu'à la dernière limite.

Nous avons recherché si cette adhérence était suffisante pour que, quel que soit l'effort éprouvé par le métal, ce dernier puisse le transmettre intégralement au ciment.

Détermination du coefficient d'adhérence. — A cet effet, nous avons préparé un certain nombre de blocs de hauteurs variables, contenant chacun un fer rond sur toute sa hauteur (*fig. 34*). Ces fers dépassaient le ciment de 2 *cm* de manière à recevoir la pression d'un piston hydraulique. Les blocs reposaient sur une base à l'intérieur de laquelle on avait ménagé un orifice d'undiamètre un peu plus grand que celui du fer. En suivant la pression sur le manomètre en communication avec la presse hydraulique, on était averti du démarrage du fer par le retour brusque de l'aiguille manométrique qui se maintenait ensuite à une pression beaucoup plus basse pendant la descente lente du fer.



Des quelques expériences que nous avons faites un peu impatiemment pour avoir le temps de vous en rendre compte (les blocs avaient été gâchés seulement six jours auparavant), nous avons constaté pour trois diamètres de fer 16, 20 et 32 *mm* et trois hauteurs différentes, 100, 200 et 300 *mm* que le coefficient d'adhérence rapporté au centimètre de surface en contact, était sensiblement constant et compris entre 20 et 25 *kg*.

Ce chiffre est tout à fait surprenant, vu la jeunesse des mortiers. (Le dosage était de 600 *kg* de ciment pour 1 m^3 de sable). Le coefficient de frottement du fer en mouvement est ressorti en moyenne à 7 *kg* par centimètre carré.

Si donc nous admettons 25 *kg* comme minimum, le coefficient d'adhérence par centimètre carré de surface en contact pour des poutrelles âgées de trois à quatre semaines, il en résulterait, que tandis qu'une barre d'acier de diamètre *d*, pourrait supporter un effort.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \times 12\,000\,000\ kg = 9\,425\,000\ d^2$$

L'adhérence ne pourrait être rompue que sous un effort de :

$$F' = \pi dl \times 250\,000\,kg = 785\,000\ dl$$

Le tableau suivant donne les valeurs de F et F′ pour diverses valeurs de d :

Diamètres d. . .	0,01 m	0,02 m	0,03 m	0,04 m	0,05 m
Effort de traction F	942,5 kg	3 770 kg	8 482 kg	15 080 kg	23 562,5 kg
Adhérence F′ . .	7 850 $kg \times l$	15 700 $\times\ l$	23 550 l	31 400 l	39 250 l

Le cas le plus défavorable est relatif au plus fort diamètre mais en général c'est dans ces circonstances que l'on a affaire aux plus grandes portées et, par suite, que l est plus grand. Quoi qu'il en soit même pour $l = 1\ m$, l'adhérence serait suffisante.

Il en résulte qu'il n'y a aucun intérêt à augmenter la surface d'adhérence en adoptant des fers d'un profit tourmenté, bien que le fer rond offre à surface égale, le plus petit périmètre, il sera donc toujours suffisant d'après le tableau ci-dessus.

Influence des attaches. — D'autre part un élément longitudinal de métal ne peut travailler que de conserve non seulement avec la partie du ciment qui l'entoure immédiatement, mais encore avec toute la section verticale de la poutrelle qui se trouve au droit de ce dernier.

Les attaches surtout jouent un rôle très important. D'un côté, elles assurent la liaison des deux semelles hétérogénes de la poutre ; de l'autre, elles servent d'appui aux petits voussoirs de ciment qu'elles encadrent, lesquels venant se buter contre elles, offrent une nouvelle résistance à la déformation de la poutre.

Nous avons éprouvé comparativement deux poutres identiques de $0{,}50m \times 0{,}05m$ de semelle comprimée, de hauteur $h = 0{,}16\,m$ et armées d'un fer rond de 14 mm de diamètre.

Ces poutres reposaient sur deux appuis distants de $3m$, elles ont été chargées de poids placés en leur milieu. L'une n'avait qu'une attache par mètre, l'autre, cinq. La première s'est rompue sous une charge de $588kg$ et, la seconde de $1\,264kg$. La pratique nous a indiqué qu'il fallait prévoir dix attaches par mètre.

De ces considérations il résulterait qu'il conviendrait d'employer un métal très résistant, mais s'allongeant très peu de manière à moins fatiguer le ciment qui l'enveloppe. Comme nous l'avons dit au début, cet avantage ne compenserait pas les inconvénients d'un métal dur et par suite cassant. Quelque important que soit l'influence des éléments omis dans le calcul des poutres, nous

croyons qu'il vaut mieux ne pas en tenir compte afin de se laisser une très grande marge de sécurité. Tout ce que l'on peut faire c'est d'admettre pour les coefficients de travail des matières employées des valeurs assez élevées, puisqu'on est sûr de ne jamais les atteindre. et c'est pour cela que nous avons adopté 15 *kg* par millimètre carré, pour l'acier et 40 *kg* par centimètre carré pour le mortier de ciment.

Toutefois, comme pour les tuyaux, l'épaisseur de ciment travaillant à l'extension ne variant pas proportionnellement à l'importance des charges, pour de fortes charges, nous réduisons ce coefficient à 12, et même à 10 *kg* pour des cas tout à fait extraordinaires.

Résumé.

En résumé, nous venons de démontrer, dans ce chapitre, que :

1° l'$\frac{I}{v}$ du métal avait pour expression : $Mh \times \frac{v}{V}$,

2° Que l'on pouvait prendre en général d'une façon approximative suffisante pour la pratique :

$$\frac{I}{v} = Mh$$

3° Que l'$\frac{I}{v}$ du ciment avait pour expression : $Ch \times \frac{v'}{V'}$;

4° Que le rapport $\frac{v'}{v}$ était égal $\frac{nM}{C}$ (3)

et comme $v' + v = h$,

on en tire : $v' = \frac{nMh}{nM + C}$; (4)

5° Que le rapport $\frac{C}{M}$ des sections de ciment et de métal étaient donnés par l'expression :

$$\frac{C}{M} = \frac{n\left(h + \frac{e}{2}\right)}{nh - \frac{e}{2}\frac{R_M}{R_C}} \times \frac{R_M}{R_C} \qquad (6)$$

laquelle pour, $n = 20$, $R_M = 15\,000\,000$ *kg*, $R_C = 400\,000$ *kg*, valeurs que nous adopterons définitivement, devient :

$$\frac{C}{N} = 300\,\frac{2h + e}{16h - 15e}; \qquad (7)$$

6° Rappelons que de l'égalité du moment des forces extérieures et de celui de la résistance du métal, on tire :

$$MhR_{M} = \mu$$

D'où :

$$M = \frac{\mu}{hR_{M}} = \frac{\mu}{15\,000\,000 \times h}$$

et si l'on convient d'exprimer, C, M, h, e en centimètres, ce qui nous semble plus commode, et μ en kilogrammètres,

$$M = \frac{\mu}{15\,h}; \qquad (8)$$

7° N'oublions pas enfin que :

$$C = el \qquad (9)$$

l étant la distance d'axe en axe des poutrelles ; distance que nous exprimerons aussi en centimètres.

CHAPITRE IX

Établissement d'une série de types de planchers rationnels.

La détermination des diverses dimensions d'un plancher peut donc se faire à l'aide des équations que nous venons de rappeler :

$$\frac{C}{M} = 300\,\frac{eh + e}{16\,h - 15\,e} \qquad (7)$$

$$M = \frac{\mu}{15\,h} \qquad (8)$$

$$C = el. \qquad (9)$$

Nous n'avons donc que trois équations pour déterminer six quantités :

C, M, e, l, h et μ.

En réalité, on se donne l ; en outre, le poids mort peut être déterminé *a priori* d'une façon approximative d'après des exemples précédents, la surcharge est donnée, on connait donc μ — il ne reste donc que quatre inconnues pour trois équations, de sorte que pour que le problème soit déterminé, il faut s'imposer arbitrairement une nouvelle condition :

Minimum de hauteur. — 1° Il en est une qui se présente immédiatement à l'esprit, car elle intéresse le praticien, c'est celle qui

permet d'obtenir le minimum de hauteur pour h, car il en résulte sinon pour le plancher lui-même, mais pour toute la construction une économie très importante de la maçonnerie à hauteur utile égale des étages.

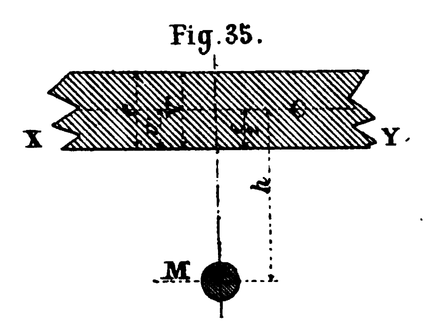


Fig. 35.

Or, le minimum de hauteur qu'indique la théorie est réalisé, lorsque l'axe des fibres neutres coïncide avec l'arête inférieure du ciment, car s'il s'élevait davantage, comme nous l'avons fait observer antérieurement, il détacherait une partie de la plate-bande qui travaillerait à l'extension.

Cette condition revient donc à la suivante *(fig. 35)* :

$$v' = \frac{e}{2} \text{ et } V' = e.$$

On a donc :

$$\frac{v'}{V'} = \frac{1}{2},$$

et par suite :

$$Ch \times \frac{v'}{V'} \times R_c = \frac{1}{2} Ch R_c = \mu$$

ou en exprimant tout en centimètres, μ en kilogrammètres, et faisant $R_c = 40$:

$$\frac{1}{2} Ch \times 0{,}40\, kg = \mu. \qquad (10)$$

D'où l'on tire :

$$C = \frac{\mu}{0{,}20 h} \qquad (11)$$

Comme nous avons d'autre part :

$$M = \frac{\mu}{15\, h}. \qquad (8)$$

il en résulte que :

$$\frac{C}{M} = \frac{15}{0{,}20} = 75.$$

Portant cette valeur de $\frac{C}{M}$ dans l'équation générale :

$$\frac{C}{M} = 300 \frac{2h + e}{16 h - 15 e}. \qquad (7)$$

il vient :

$$\frac{C}{M} = 75 = 300 \frac{2h + e}{16 h - 15 e}$$

D'où :

$$8\, h = 19\, e.$$

Le problème se trouve ainsi complètement déterminé par le rapport de la hauteur h à l'épaisseur e. Car si l'on se donne diverses valeurs de e, on aura :

$$h = \frac{19}{8} e$$

$$C = el$$

$$M = \frac{el}{75}, \text{ soit pour } l = 100, \ M = \frac{4}{3} e$$

$$\mu = 15Mh = 15 \times \frac{el}{75} \times \frac{19}{8} e$$

ou :

$$\mu = \frac{19}{40} e^2 l, \text{ soit pour } l = 100, \ \mu = \frac{95}{2} e^2.$$

En résumé, pour une valeur quelconque de e et $l = 100$, soit $1m$, on a :

$$h = \frac{19}{8} e \qquad (12)$$

$$M = \frac{4}{3} e \qquad (13)$$

$$\mu = \frac{95}{2} e^2 . \qquad (14)$$

Ce qui nous permet de dresser le tableau suivant :

VALEURS DE e	h	M PAR MÈTRE	μ PAR MÈTRE	P POIDS MORT par mètre carré (approximatif)	p SURCHARGE par mètre carré sur une portée L = 5	L PORTÉE pour une surcharge de $p = 250^k$ par mètre carré
cm	cm	cm	kgm	kg	kg	m
5	11,875	6,667	1187,5	150	230 »	4,90
6	14,25	8	1710	180	370 »	5,60
7	16,625	9,333	2327,5	210	530 »	6,30
8	19	10,667	3040	240	730 »	7,00
9	21,375	12	3847,50	270	960 »	7,70
10	23,75	13,333	4750	300	1220 »	8,40

Maximum de résistance pour une hauteur donnée. — 2° On peut se donner une hauteur déterminée et chercher quelle est la valeur de e qui donne le maximum de résistance.

De l'équation générale :

$$\frac{C}{M} = 300 \frac{2h + e}{16h - 15e} \qquad (7)$$

on tire, en remplaçant C par el, et l par 100 :

$$M = \frac{e}{3}\frac{16h - 15e}{2h + e}; \qquad (15)$$

substituant à M cette valeur dans l'équation :

$$\mu = 15Mh$$

il vient :

$$\mu = 5eh\frac{16h - 15e}{2h + e}. \qquad (16)$$

La valeur de e qui rend cette expression maximum pour une valeur quelconque de h, est donnée par la dérivée de

$$e\frac{16h - 15e}{2h + e} \text{ égalée à zéro.}$$

Celle-ci donne : $e = 0,584h$

Mais d'autre part, pour les raisons que nous avons développées et relatives à l'élévation maximum de la fibre neutre, nous venons de voir que e pouvait être tout au plus égal à $\frac{8}{19}h$ ou à $0,421h$.

Le maximum $e = 0,584h$ est donc irréalisable et le vrai maximum étant $e = 0,421h$, on rentre dans le cas précédent.

Cas général. — 3° Si, au contraire, se donnant une épaisseur e quelconque on cherche la valeur de h qui donne le maximum de résistance, l'équation (16) montre que h étant en facteur, le maximum de μ correspond au maximum de h.

Il reste donc un mode, c'est de donner diverses valeurs de e, et dans chaque cas diverses valeurs de h, et portant ces valeurs dans les formules (15) et (16), de dresser des tableaux de valeurs de M et de μ correspondantes.

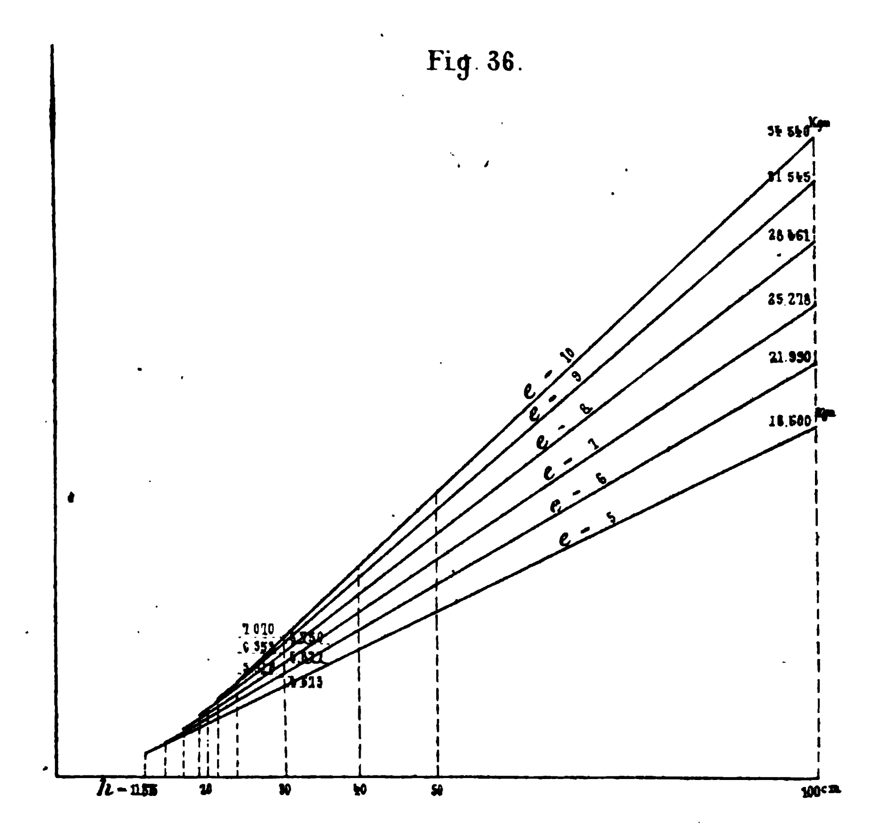
Nous donnons *(fig. 36)* un diagramme représentatif des courbes des moments de résistance relatives à ces diverses épaisseurs; nous avons porté en abcisses les differentes hauteurs, et en ordonnées les moments de résistance correspondants. Ces courbes diffèrent bien peu de droites ; elles se relèvent légèrement en se rapprochant de l'origine. On remarque, en outre, combien peu il y a d'avantage à prendre de fortes épaisseurs e pour de faibles hauteurs h.

Comme on ne saurait augmenter la hauteur au delà d'une certaine limite (la hauteur $h = 50\ m$ est déjà considérable), on voit que le moment de résistance de pareils planchers est nécessairement limité. Pour des épaisseurs ne dépassant pas 0,10 m, le chiffre

ÉPAISSEURS e	HAUTEURS h	SECTION DU MÉTAL M PAR MÈTRE CARRÉ	KILOGRAMMÈTRES μ PAR MÈTRE CARRÉ
cm	*cm*	*cm²*	*kgm*
5	11,875	6,667	1 187
	20	9,074	2 722
	30	10,385	4 673
	40	11,078	6 647
	50	11,508	8 631
	100	12,400	18 600
6	14,25	8	1 710
	20	10	3 000
	30	11,818	5 318
	40	12,790	7 674
	50	13,396	10 047
	100	14,660	21 990
7	16,625	9,333	2 327
	20	10,674	3 202
	30	13,060	5 877
	40	14,348	8 609
	50	15,161	11 366
	100	16,852	25 278
8	19	10,667	3 040
	20	11,111	3 333
	30	14,117	6 353
	40	15,757	9 454
	50	16,790	12 593
	100	18,974	28 461
9	21,375	12	3 847
	30	15	6 750
	40	17,012	10 213
	50	18,303	13 727
	100	21,030	31 545
10	23,75	13,333	4 750
	30	15,714	7 070
	40	18,146	10 888
	50	19,697	14 772
	100	23016	34 540

de 15 000 *kgm* peut être considéré comme un maximum avec ce mode de construction. Si l'on veut obtenir des poutres plus fortes, sans augmenter le poids mort il faudra doubler ou tripler le fer, et en introduire une certaine quantité dans la semelle comprimée dont le ciment serait insuffisant pour résister à de telles charges. Le nombre de 15 000 *kgm*, qui correspond à une surcharge uniformément répartie de 250 *kg* sur une portée de 14 *m* environ, repré-

Fig. 36.



sente cependant déjà un cas assez peu ordinaire ; si l'on espace les poutrelles à 2/3 de mètre, la section de fer par poutrelle serait de 19 697 $\times \frac{2}{3}$ représentant une barre de 42 *mm* de diamètre. Pour obtenir une poutre double, il faudrait quatre barres de 42 *mm* à la semelle inférieure, et environ trois à la semelle supérieure.

Même dans ce cas limite la poutre en ciment avec ossature métallique est économique ; car pour obtenir un moment de

60 000 *kgm*, avec de l'acier travaillant à 10 *kg* il faudrait un $\frac{I}{v}$ de 0,006*m* et une hauteur *h* de 1,50*m*. Soit environ deux fers 508 H de la Providence pesant ensemble 360 *kg* par mètre ; pour le même cas, nous emploierions, $4 \times 19{,}70\ cm^2$ de fer.

Soit 62 *kg* environ de fer à la semelle inférieure
et 46 *kg* — — supérieure,

Soit 108 *kg* au lieu de 360 *kg*.

Il est vrai que l'ossature métallique ne se borne pas aux barres d'acier que nous venons de mentionner ; nous avons à considérer encore le treillis de la semelle supérieure qui pèse suivant les surcharges de 5 à 7 *kg* le mètre carré ; les attaches rattachant la barre de la poutrelle au treillis de la semelle comprimée, pesant encore de 2 à 4 *kg* par mètre carré, enfin, nous ajoutons à la partie supérieure de la poutrelle une barre *m* (*fig.* 23) dont le rôle est le suivant. Les poutrelles préparées à l'avance ont à supporter le plancher pendant la construction, tant que ce dernier n'a pas encore fait prise, et ce réduites à leur propre résistance, c'est-à-dire n'ayant pour résister à l'effort de compression qui résulte des divers poids morts, que le ciment qui les compose. Le volume de ce ciment est insuffisant pour faire face à un tel effort. C'est pourquoi nous noyons, à la partie supérieure des poutrelles, une barre métallique dont le moment de résistance s'ajoute à celui du ciment.

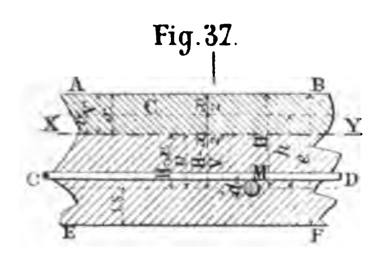
Quand le plancher est terminé, décintré et qu'ayant fait prise, il est capable de constituer la semelle prévue pour résister à l'effort de compression provenant non seulement des poids morts mais des surcharges, la barre métallique *m* n'est pas cependant inutile. Sa section est plus que suffisante pour faire face, à elle seule aux efforts tranchants, et laisser encore une marge suffisante pour équilibrer les moments négatifs pouvant provenir d'un encastrement partiel de plancher. Remarquons que la section *m* sera d'autant moins importante par rapport à la section M de la semelle inférieure que la surcharge *p* sera plus forte, puisque P étant le poids mort et *l* la portée, M est proportionnel à $(P + p)\,L^2$ tandis que *m* est proportionnel seulement à PL^2.

CHAPITRE X

Calcul des dalles.

Les dalles ne sont en définitive qu'un cas particulier d'un plancher dont les poutrelles se réduisent à des barres métalliques noyées dans la masse du plancher lui-même. La figure 37 montre la composition d'une dalle, Soit XY la position de l'axe des fibres neutres. La partie ABXY qui se trouve au-dessus de cet axe travaille à la compression, la partie XYEF travaille à l'extension et la partie CDEF n'a d'autre but que de recouvrir le métal.

Fig. 37.



Nous prendrons 1,5 *cm* comme hauteur constante de cette dernière partie au-dessous de l'axe CD des barres métalliques. Nous appelons H la distance de cet axe CD à l'arête supérieure AB, et h toujours la distance d'axe en axe des semelles comprimée et tendue.

Nous ne connaissons pas x *a priori*; cette épaisseur est déterminée par l'égalité des moments des sections du ciment comprimé et du métal par rapport à Xy.

On a donc comme première équation :

$$x \times \frac{x}{2} = n\text{M}(\text{H} - x) \qquad (17)$$

d'où l'on peut tirer, si l'on veut :

$$x = -n\text{M} + \sqrt{n^2\text{M}^2 + 2n\text{MH}} \qquad (18)$$

Mais l'on peut déterminer également x, en posant une seconde condition, savoir que les résistances du métal et du ciment soient égales, soit :

$$\text{M}h \times \frac{v}{\text{V}} \times \text{R}_{\text{M}} = xh \times \frac{v'}{\text{V}'} \times \text{R}_{\text{C}} = \mu.$$

La masse M est en réalité représentée en général par dix fers de section totale M, par mètre courant, et dont le diamètre d est assez faible, même relativement à la distance $v = \text{H} - x$. L'erreur commise en supposant $\frac{v}{\text{V}} = 1$, n'est cependant pas négligeable.

Mais comme l'introduction de la valeur exacte $\frac{v}{V} = \frac{H - x}{H - x + \frac{d}{2}}$ conduirait à une équation complexe, puisqu'il faudrait encore remplacer d par sa valeur en fonction de M, soit $d = \sqrt{\frac{2M}{5\pi}}$, il est plus simple de se fixer une limite supérieure : $\frac{v}{V} = \frac{4}{5}$, ce qui revient à supposer $\frac{v}{V} = 1$, et à réduire R_M dans la proportion de 5 à 4, ou à prendre $R_M = 1\,200$ *kg* au lieu de 1 500, chiffre que nous avons admis jusqu'à présent.

Quant à $\frac{v'}{V'}$, il est égal à $\frac{1}{2}$; d'après ces deux considérations la dernière équation se simplifie et devient :

$$1\,200M = 20x$$

ou :

$$x = 60M \tag{19}$$

Remplaçant x par cette valeur dans l'équation (17), il vient, en faisant $n = 20$:

$$90M = H - 60M.$$

D'où : $M = \frac{H}{150}$ par centimètre de longueur

ou $M = \frac{2}{3} H$ par mètre de longueur (20)

et par suite :

$$x = 60M = 60 \times \frac{H}{150}$$

ou :

$$x = \frac{2}{5} H \tag{21}$$

D'autre part comme $\mu = Mh \times 12^{kg}$ (si l'on veut exprimer M et h en centimètres et μ en kilogrammètres)

que

$$M = \frac{2}{3} H$$

$$h = H - \frac{x}{2} = H - \frac{1}{2}\frac{2}{5} H = \frac{4}{5} H.$$

Il en résulte

$$\mu = \frac{2}{3} H \times \frac{4}{5} H \times 12\ kg. \tag{22}$$

ou

$$\mu = 6{,}4H^2\ kgm.$$

Le calcul des dalles se résume donc dans les équations simples suivantes :

$$M - \frac{2}{3}H \qquad (20)$$

$$x = \frac{2}{5}H \qquad (21)$$

$$\mu = 6{,}4\ H^2 \qquad (22)$$

Et si nous donnons à H diverses valeurs, nous obtenons le tableau suivant :

ÉPAISSEURS e	H	x	M	NOMBRE DE BARRES	DIAMÈTRE DES BARRES	μ	CHARGES uniformément réparties sur un mètre de portée
	cm	*cm*	*cm²*		*mm*	*kgm*	*kg*
4,5	3	1,2	2	10	5	58	460
5,5	4	1,6	2,66	10	6	102	820
6,5	5	2	3,33	12	6	160	1 280
7,5	6	2,4	4	11	7	230	1 840
8,5	7	2,8	4,66	12	7	314	2 500
9,5	8	3,2	5,33	11	8	410	3 275
10,5	9	3,6	6	12	8	520	4 150
11,5	10	4	6,66	13	8	640	5 120

Quant à l'ossature supérieure, aux barres perpendiculaires à celles que nous venons de considérer, et reposant sur elles, elles seront toujours assez fortes, car elles ont à supporter la même charge, mais sur une portée dix fois moindre environ. Des fils de 1 *mm* espacés tous les 10 *cm* seraient donc amplement suffisants, mais nous employons des fils de 4 à 6 *mm* suivant les épaisseurs, car ces derniers jouent principalement le rôle d'entretoises rendant solidaires entre eux les fils inférieurs.

CHAPITRE XI

Conclusions.

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les ouvrages en ciment, avec ossature métallique travaillant à la flexion, nous voyons que le calcul de leurs proportions rationnelles offre des difficultés inextricables si l'on veut du premier coup tenir compte de tous les éléments du problème.

Si, au contraire, on fait momentanément abstraction de certains

facteurs, négligeables en apparence, les équations permettant de déterminer les principales dimensions sont d'une simplicité remarquable. Par contre, nous sommes autorisés par cette omission à admettre des coefficients de travail assez élevés, mais il reste bien entendu qu'en réalité les matières visées fatiguent très peu, dans les conditions de charges normales, c'est-à-dire considérées comme telles en raison des coefficients de travail admis et qu'en outre l'expérience nous permet d'évaluer la marge considérable dont on dispose.

Nous pouvions ici nous poser la question de savoir comment ces facteurs que nous négligeons peuvent intervenir comme ils le font. Nous voyons qu'en somme dans tous les ouvrages en ciment avec ossature métallique, les deux matières qui travaillent, le métal et le ciment, ne se séparent jamais et arrivent à se partager les travaux à accomplir, grâce à leur forte adhérence. Pour déterminer exactement la part de chacun, il faudrait connaître très exactement la quantité de travail qui correspond à un allongement donné du ciment; c'est là une question délicate qu'il nous reste à résoudre, et la tâche que nous nous imposons actuellement, c'est précisément de déterminer la loi qui relie ces allongements du ciment travaillant à l'extension, aux charges qui les produit.

DISCOURS

Prononcé aux obsèques de M. Émile BARRAULT

le 28 mars 1894 à Pau

PAR

M. X. LAPRADE

Messieurs,

Devant ce cercueil à peine fermé sur la dépouille mortelle de l'homme de bien que nous pleurons, je viens, au nom de l'Association amicale des anciens élèves de l'École Centrale, au nom de la Société des Ingénieurs Civils de France, dire à Émile Barrault notre dernier adieu sur cette terre.

Après de brillantes études littéraires Émile Barrault entrait à l'École Centrale des arts et manufactures et en sortait en 1849 avec le diplôme d'ingénieur.

Au début de sa carrière, il connait toutes les difficultés de la vie et en 1851, alors qu'il a déjà fait ses preuves à la direction de Boussu, il est expulsé de Belgique parce que son père a servi la cause démocratique comme représentant du peuple français en 1848. — Il se soumet, rentre en France où malgré sa légitime fierté et son savoir il accepte les modestes fonctions de calqueur à l'usine Cail; il est bientôt dessinateur chargé des études et contribue puissamment à la création de la chaudière inexplosible Belleville. C'est alors qu'il entre en rapport, à l'occasion du brevet Belleville pris en 1852, avec M. Armengaud, et ce dernier lui confie la direction de son cabinet.

Émile Barrault modifie complètement les usages de la maison Armengaud; il étudie non seulement le dessin des appareils à breveter, mais il s'applique à en faire une description claire et raisonnée, basée sur les principes techniques et sur la législation de la propriété industrielle. — Comme conséquence, les affaires de la maison Armengaud doublent en quelque temps.

En 1856, Émile Barrault, sollicité par nombre d'inventeurs dont Giffard, auquel nous devons une des plus importantes découvertes du siècle, consent à quitter l'agence Armengaud et se décide à s'affranchir de toutes les anciennes coutumes et à procéder suivant les méthodes les plus rationnelles. Il fonde donc le cabinet qui porte son nom pour la demande, l'obtention et la défense des brevets d'invention et des marques de fabrique en France et à l'étranger; nos camarades répartis dans tout l'univers deviennent ses correspondants et la notoriété d'Émile Barrault est telle qu'en 1878 il est acclamé rapporteur du Comité pour l'Étude des diverses législations sur les brevets d'invention.

Emile Barrault fit de nombreuses publications sur la propriété industrielle, elles font autorité en la matière; il collabora au grand dictionnaire Larousse pour toute la partie industrielle, et le Tribunal de Com-

merce de la Seine appréciant sa compétence et sa droiture le nomma arbitre rapporteur; il n'a cessé d'être choisi comme tel depuis 1876.

Émile Barrault entra en 1851 à la Société des Ingénieurs civils et fut élu membre du comité de cette Société de 1873 à 1880.

Voilà les grands faits de la vie de l'ingénieur; ils suffiraient à plusieurs. Pour Barrault c'était trop peu. Il était également guidé et par son intelligence et par son cœur. C'était un ingénieur distingué; c'était aussi et surtout un homme de bien.

Il se préoccupe de conserver dans le cœur de tous les Centraux l'esprit de camaraderie qu'ils ont à l'école pendant leurs trois années d'études; il veut qu'ils s'aident dans leurs travaux en se communiquant leurs découvertes et montrant lui-même l'exemple, il prend une part active dans la Société des Ingénieurs Civils de France dès que les premières difficultés de sa carrière ont été surmontées. Mais il veut surtout une solidarité complète entre tous les anciens élèves de l'École Centrale et il travaille de toute son âme à la création de l'Association amicale dont le but est d'établir entre tous les membres des relations de sympathie, de relier successivement les promotions nouvelles aux promotions anciennes.

L'Association lui en témoigne toute sa reconnaissance en l'élevant à la dignité de président en 1879-1880.

En 1870-71, alors que son cœur saigne de voir la patrie envahie et Paris bloqué, il est nommé membre fondateur du Comité civil des moyens de défense et n'oubliant pas les malheureux qui tombent sur les champs de bataille il fonde, avec le docteur Love, l'association des Sœurs de France pour secourir les blessés.

En 1892, Émile Barrault fatigué, usé par une existence toute de travail, cherchait la tranquillité sous le beau ciel de Pau; mais s'il voulait le repos du côté des affaires, il n'avait point renoncé au développement de l'esprit de camaraderie de l'École, et il nous groupa quelques-uns autour de lui. Nous l'avions choisi comme président.

Nous nous rappelons tous son amabilité, la jeunesse de son esprit et nous ne nous doutions guère, lorsqu'il nous reçut chez lui le 29 janvier dernier, que nous serions sitôt réunis autour de son cercueil.

Émile Barrault était un de ces hommes de cœur dont on est fier d'avoir été l'ami et le camarade. Il nous a donné de grands exemples dont la tradition ne se perdra point parmi nous; il lègue à ses chers enfants un noble héritage dont ils continueront la tradition.

Puissent nos regrets adoucir ceux de sa femme et de ses enfants.

Adieu, mon cher Président, adieu, non pas pour toujours. Tu fus parmi les justes et Dieu te réserve le bonheur qu'il promet à ses élus. Au revoir!

CHRONIQUE

N° 171.

SOMMAIRE. — Le canal maritime de Manchester. — Viscosimètre à torsion. — Les moteurs à gaz en Allemagne. — Le chemin de fer électrique aérien de Liverpool. — La neige à New-York. — Une roue Ferris à Londres.

Le canal maritime de Manchester. — Le canal maritime de Manchester est, depuis la fin de novembre 1893, terminé et ouvert à la navigation. Nous croyons intéressant de donner une description sommaire de ce grand ouvrage qui est un de ceux qui feront le plus d'honneur à l'art de l'ingénieur dans notre siècle. L'*Engineering*, dans son numéro du 15 février dernier, lui a consacré 56 pages et 164 dessins dans le texte et à part. C'est dans ce travail très complet que nous prendrons les renseignements les plus intéressants.

La première tentative de réalisation d'un canal devant faire arriver les navires de mer à Manchester remonte à onze ans et demi. C'est en juin 1882 que feu M. Daniel Adamson convoqua chez lui une réunion pour aviser aux moyens de réaliser un vœu émis cinq ans auparavant par la Chambre de Commerce de Manchester. Dans cette réunion, une Commission fut nommée pour examiner la question au point de vue technique. Deux projets étaient en présence, le premier présenté par M. Hamilton Fulton comportant un canal à niveau, l'autre était celui d'un canal à écluses. Ce dernier fut appuyé par notre collègue M. James Abernethy, ingénieur conseil de l'entreprise. M. Abernethy fit observer que, si le canal à niveau avait pour lui la suppression de la dépense très élevée des écluses, il avait en revanche des inconvénients énormes. Le niveau du sol étant à Manchester à 18 *m* au-dessus de celui de la mer, il faudrait des tranchées de très grande profondeur et les marchandises à décharger devraient être élevées à une grande hauteur pour atteindre le niveau des rues ; il était dès lors plus simple d'élever les navires eux-mêmes au moyen d'écluses. Le second projet, dû à M. G. Leader Williams, resta donc maître du terrain. Nous n'avons pas besoin de dire, d'ailleurs, que celui-ci fut singulièrement modifié en exécution et qu'il ne resta pas beaucoup des dispositions primitives en dehors du principe. Ainsi le projet comportait un canal de 30,50 *m* de largeur avec 6,70 *m* de profondeur et trois écluses seulement, s'embranchant sur la Mersey, à Raucorn et empruntant le lit de la rivière sur une certaine longueur. Le devis était estimé à 130 millions de francs en nombre ronds. On verra plus loin que tout cela a été profondément modifié.

Si le projet du canal de Manchester était puissamment soutenu, il n'est pas moins vrai que son exécution compromettait des intérêts opposés, ceux de Liverpool, des chemins de fer, etc., qui voyaient un trafic énorme sur le point de leur échapper; ces adversaires entamèrent une

lutte énergique. A la fin de 1882, le Bill pour autoriser l'exécution du canal maritime vint devant le Parlement et l'ère des difficultés commença. Après beaucoup de discussions, le Bill passa à la Chambre des Communes, mais il fut rejeté par celle des Lords. Les promoteurs du projet ne se découragèrent pas et revinrent à la session suivante avec des modifications. Ils étaient appuyés par d'éminents ingénieurs, MM. Abernethy, John Fowler, B. Baker, Bateman, Brunlees, etc., mais avaient contre eux d'autres ingénieurs non moins éminents, sir Joseph Bazalgette, sir Fréderick Bramwell, sir William Thomson (maintenant lord Kelvin), etc. Ces adversaires eurent recours aux lumières du capitaine Eads, l'ingénieur américain bien connu par ses travaux d'amélioration de l'embouchure du Mississipi, et le firent venir avec des honoraires de 100 000 *f*, ce qu'on dit le prix le plus élevé qui ait été payé pour une consultation technique.

L'*Engineering* dit que les dépenses faites pour l'enquête qui dura vingt-huit jours représentent cinq guinées, *soit* 130 *f par minute*. Tout cela aboutit à l'acceptation du projet par les Lords, mais, cette fois, à son rejet par les Communes, grâce surtout, paraît-il, à l'intervention du capitaine Eads.

Sans se décourager le moins du monde, les promoteurs écartèrent de leur projet les points les plus discutés, tels que les travaux dans l'estuaire de la Mersey, le remanièrent pour donner satisfaction aux exigences manifestées et le représentèrent au Parlement en 1885. Après une discussion qui ne dura pas moins de trente jours dans une Chambre et de trente-cinq dans l'autre, le projet passa aux deux et le Bill devint un Acte qui reçut la sanction royale le 6 août 1885. On avait dépensé deux années en discussions et quelque chose comme 9 millions de francs des deux parts pour arriver à pouvoir commencer les travaux. Mais il fallait d'abord trouver les capitaux nécessaires. Une première tentative d'émission faite par la maison Rothschild en juillet 1886 échoua complètement, malgré ce tout-puissant patronage, mais une seconde, faite en juin 1887 par les maisons Rothschild et Baring ensemble fut plus heureuse et la Compagnie, assurée des fonds nécessaires, passa un contrat avec M. Thomas Walker qui s'engageait à terminer les travaux en quatre années, à partir de la livraison des terrains, moyennant le prix de 143 millions de francs. Il y eut encore beaucoup de difficultés à surmonter avant de commencer les travaux pour lesquels le premier coup de pioche fut donné le 11 novembre 1887. Précédemment, le canal de Bridgewater avait été acquis pour le prix de 42 millions de francs. A partir de cette époque, l'exécution du canal se poursuivit régulièrement mais non sans difficultés dont une des moindres ne fut pas la mort de l'entrepreneur général, M. T.-A. Walker, qui amena des modifications importantes dans la direction des travaux et la résiliation du contrat d'entreprise. On avait pu s'apercevoir d'ailleurs que le devis primitif serait largement dépassé et il fallait pourvoir à l'augmentation du capital, si on ne voulait pas voir les travaux arrêtés. En 1891 on présenta au Parlement un Bill pour autoriser un emprunt, et, l'autorisation ayant été obtenue, on put réaliser les ressources nécessaires.

En juin 1891 l'eau fut admise dans le canal à son embouchure dans

la Mersey, à Ellesmereport, et, au mois de juillet, aux écluses d'Eastham. Au mois de septembre la navigation était possible jusqu'à l'embouchure de la Weaver et, en juillet 1892, Saltport devenait un nouveau port de mer de l'Angleterre. Au commencement de 1893 on achevait les viaducs élevés destinés à faire franchir le canal aux lignes de chemins de fer, et le 25 novembre de la même année, l'eau était mise dans toute l'étendue du canal et celui-ci était ouvert à la navigation ; il avait fallu, comme nous l'avons indiqué plus haut, onze ans à partir du dépôt du premier Bill devant le Parlement, huit ans un quart depuis l'acte d'autorisation et six ans à partir du commencement des travaux.

Le capital employé pour ce magnifique travail est composé comme suit :

Actions ordinaires		100 000 000 *f*
Actions de priorité.		100 000 000
Obligations de premier rang. .	45 300 000 *f*	
Obligations de second rang . .	15 000 000	
Emprunt de la corporation de Manchester	125 000 000	
		185 300 000
TOTAL.		385 300 000 *f*

Les dépenses au 30 juin 1893 étaient les suivantes :

Acquisition du canal de Bridgewater.	44 560 000 *f*
Terrains, indemnités, etc.	29 035 000
Exécution des travaux, matériel compris	221 545 000
Tracé, plans, nivellement, etc.	3 135 000
Intérêts payés sur le capital.	25 960 000
Dépenses parlementaires de 1885 à 1893	4 090 000
Dépenses de procédure, etc.	520 000
Publicité, courtage, dépenses d'émission	2 720 000
Dépenses pour l'emprunt de la Corporation de Manchester	795 000
Autres dépenses d'ordre général	4 400 000
TOTAL.	336 760 000 *f*

On voit que les dépenses se sont élevées au triple à peu près du devis primitif; cette différence s'explique par les modifications très importantes apportées dans l'exécution et par les surcroits de frais qu'a amenés pour la Compagnie la nécessité de faire elle-même une partie des travaux après la résiliation du contrat d'entreprise générale. Les acquisitions de terrain comprennent 4 520 acres dont 2 500 restent disponibles pour être revendus.

Nous allons maintenant donner une description du canal et de ses ouvrages les plus importants. Il a son point de départ sur la rive gauche de la Mersey, à Eastham, soit à 6 milles environ au-dessus de Liverpool, qui voit par conséquent passer devant ses docks les navires remontant directement à Manchester, comme les Havrais voient passer au

large de leurs jetées les navires qui remontent à Rouen. A Eastham se trouve une écluse de marée. De là le canal suit le bord du fleuve jusqu'à Runcorn où il le quitte pour le rejoindre à Latchford où est une écluse; entre Latchford et Islam où il y a encore une écluse, le tracé coupe plusieurs petites rivières et est traversé par plusieurs lignes de chemins de fer ; à Barton est encore une écluse, puis le canal se termine aux docks de Salford, près de Manchester, qui constituent un port intérieur.

La longueur totale du canal, depuis son embouchure dans la Mersey jusqu'aux docks terminus, est de 57 155 *m*; la différence de niveau entre le canal à Manchester et la Mersey, à mi-marée dans l'estuaire, est de 21,35 *m*. La distance totale et la différence de niveau se décomposent comme suit :

Sections	Distance de l'écluse d'Eastham.	Longueurs.	Chute de chaque écluse.	Niveau au-dessus de celui de la Mersey.
—	—	—	—	—
Eastham . .	33 810 *m*	33 810 *m*	»	2,90 *m*
Latchford . .	45 885	12 075	5,030 *m*	7.91
Islam. . . .	49 105	3 220	4,880	12,82
Barton . . .	54 337	5 232	4,575	17,39
Mode Wheel.	57 155	2 818	3,965	21,35
	57 155 *m*	57 155 *m*	18,450 *m*	21,35 *m*

Le tirant d'eau du canal ne descend pas au-dessous de 7,90 *m*, de sorte qu'il peut donner passage aux plus grands navires de commerce. La largeur est variable. Dans la partie supérieure, entre Manchester et Barton, sur 8 *km* environ, elle est de 51,85 *m* au plafond. Entre Barton et la Mersey, elle n'est que de 36,60 *m* au plafond et 51,50 *m* à la ligne d'eau. Excepté aux écluses, le passage le plus étroit est au pont de Runcorn où le passage libre entre la culée et la pile en rivière est réduite à 28 *m*. Les ponts pour le passage des chemins de fer laissent une hauteur libre de 22,90 *m* au-dessus du niveau de l'eau dans le canal ; les ponts tournants ont leur point le plus bas à 4,90 *m* au-dessus de l'eau.

Les écluses de marée d'Eastham sont au nombre de trois, accolées côte à côte, la différence de niveau qu'elles franchissent est de 2,90 *m*. Elles ont l'une 183 *m* sur 24,40 *m*, la seconde 106,75 *m* sur 15,25 *m* et la troisième 45,75 *m* sur 9,15 *m*. Les autres écluses ont des dimensions à peu près semblables, mais elles ne sont en général qu'au nombre de deux, accolées et séparées seulement par un bajoyer. Les portes de ces écluses sont toutes en greennhart ; il entre dans les grandes environ 230 *t* de bois pour chaque vantail, avec 20 *t* de fer environ. Le poids s'élève à 250 *t*, soit 500 *t* pour une porte. La manœuvre se fait par la puissance hydraulique avec des appareils fournis par Armstrong, Mitchell et C[ie], consistant en pistons plongeurs agissant sur des chaînes fixées aux portes. L'eau est comprimée dans des accumulateurs par des pompes actionnées par des machines à vapeur; la pression de l'eau est de 50 atmosphères.

Il y a sept ponts tournants sur le canal ; ces ponts ont tous une grande et une petite travée, la longueur de la première variant de 33,80 *m* à 45 *m*. Le plus remarquable de ces ouvrages est le pont tournant de Barton qui sert au passage du canal de Bridgewater au-dessus du canal maritime. La partie mobile forme un coffre construit en tôles et cornières et compris entre deux poutres en treillis dont la longueur est de 82 *m*, la largeur de 6,70 *m* : la hauteur est de 10 *m* au milieu et se réduit à 8,50 *m* aux extrémités. A chaque bout il y a une porte pour retenir l'eau dans la partie mobile lorsqu'on tourne le pont ; il y a également des portes à l'extrémité des parties fixes du canal. Les joints étanches lors de la fermeture du pont s'effectuent au moyen de coins manœuvrés par des vérins hydrauliques. Cette disposition, difficile à décrire sans le secours de figures, est représentée sur divers dessins dans le numéro déjà cité de l'*Engineering*. Il y a un certain nombre de ponts de chemins de fer qui sont tous fixes et ont exigé des travaux considérables pour dévier les voies et les amener à une hauteur suffisante au-dessus du canal. Un des plus remarquables est le viaduc de Runcorn qui franchit à la fois le canal maritime et la Mersey pour donner passage au London and North Western Railway, ligne allant de Crewe en Écosse. Il a trois travées métalliques de 52 *m* chacune et une série d'arcades en maçonnerie.

Le chapitre des terrassements a, comme on peut le supposer, été très important. On estime le cube total enlevé à 40 millions de mètres cubes, dont 9 millions environ de grès compacts. Sur ce dernier chiffre, 8 millions et demi ont été extraits à sec et un demi-million sous l'eau. Pour les matières moins consistantes, la plus grande partie a été enlevée à sec et 2 millions seulement de mètres cubes à la drague. Le cube enlevé a varié de un demi à 1 million de mètres cubes par mois suivant les difficultés du travail. Les murs des quais et des ouvrages d'art sont en briques ou en béton, ils représentent un cube de 130 000 *m* de maçonnerie de briques et 940 000 *m* de béton ; il y a, en outre, 165 000 m^3 de maçonnerie pour former les piles et les culées des ponts.

On a employé un matériel considérable pour le creusement du canal. Il y avait dix dragues dont une porteuse, la *Manchester*, construite par W. Simons et C[ie], pouvant extraire 850 *t* à l'heure et travailler à une profondeur maxima de 10,60 *m* au-dessous du niveau de l'eau. Ces dragues étaient desservies par vingt-quatre bateaux à coque d'acier et neuf grues à vapeur pour élever les déblais, chaque grue enlevant une benne de 5 *t* du bateau, la vidant dans un wagon ordinaire de terrassement et la redescendant, le tout en une minute. La hauteur d'élévation était de 6 *m* et le rayon de giration de 5,50 *m*.

On s'est servi dans plusieurs des sections du canal de dragues munies du transporteur de Price, pour décharger les déblais dans les wagons directement. Ce transporteur de 48 *m* de longueur était porté sur deux pontons et les godets de la drague déversaient sur le tablier transversalement et à un point quelconque. Ce tablier était sans fin et formé, non d'une lame continue de caoutchouc comme dans les transporteurs dont on s'est servi au canal de Tancarville, mais de planches de bois d'orme fixées sur une chaîne sans fin et dont le recouvrement s'opérait par une

lame de tôle mince fixée au bord de chaque planche. Cet appareil paraît avoir donné de bons résultats.

Pour l'excavation à sec, on a employé 97 excavateurs de divers systèmes, terrassier à vapeur de Ruston-Procteur, excavateurs de notre collègue M. Boulet, excavateurs allemands, etc., 173 locomotives et 6300 wagons de terrassement. Les voies parcourues par ces wagons, établies à l'écartement normal, avaient un développement de 370 *km*.

Les travaux ont été exécutés sous la direction de M. E. Leader Williams, auteur du projet primitif, assisté comme Ingénieur conseil de M. James Abernethy. Sir Benjamin Baker était aussi Ingénieur conseil pour le compte de la Corporation de Manchester, depuis que cette corporation avait pris un intérêt direct dans l'entreprise.

Il nous reste à dire quelques mots des bénéfices à attendre de l'affaire. On ne peut faire encore que des conjectures au sujet du revenu qu'elle pourra donner. Le directeur général du canal, M. Marshall Stevens, estime que sept ans après l'ouverture, le trafic annuel passant par le canal s'élèvera à 9 650 000 *t*, et donnera un produit de 38 millions de francs, auquel il faudra ajouter 1 625 000 *f* pour le revenu du canal de Bridgewater, acquis par la Compagnie et divers produits accessoires, le tout formant un total de 40 millions en nombre rond. Les dépenses d'exploitation seront de 2 1/2 millions, laissant un revenu net de 37 500 000 *f*, représentant environ 10 0/0 du capital. Ces chiffres paraissent un peu optimistes à certaines personnes, mais on doit reconnaitre que M. Stevens les appuie sur des faits précis; ainsi le chapitre du coton à lui seul représente 500 000 *t* pour lesquelles le transport par chemin de fer de Liverpool à Manchester coûte 16 *f* par tonne, alors que le canal ne prend que 7,50 *f*; il est vrai de dire que sur les 16 *f* il n'y a que la moitié qui concerne le transport, le reste passe en frais de docks, taxes diverses, etc., à Liverpool.

Comme résultat plus immédiat, M. Stevens estime que, deux ans après l'ouverture du canal, les recettes pourront atteindre 20 millions de francs et qu'avec les produits accessoires, on pourra, les dépenses d'exploitation payées, servir l'intérêt sur le capital. Il y a un point dont il est indispensable de tenir compte dans ces prévisions, c'est que les diverses Compagnies de chemin de fer, de canaux, la corporation de Liverpool, etc., dont les intérêts sont opposés à ceux du canal maritime, ne laisseront pas échapper sans une lutte acharnée le trafic dont elles avaient précédemment le monopole et feront tous leurs efforts pour en conserver au moins une partie en consentant des abaissements de tarifs, de droits, etc. Il sera intéressant de suivre l'exploitation du canal et de voir si les faits confirmeront les prévisions que nous avons indiquées plus haut. Quel que soit le résultat final au point de vue financier, on doit reconnaitre que le canal maritime de Manchester est un magnifique travail réalisé dans des conditions de rapidité et de sûreté admirables et qui peut être mis au rang des plus beaux produits modernes de l'art de l'Ingénieur.

Viscosimètre à torsion. — Les producteurs et les consommateurs d'huiles de graissage sont d'accord pour reconnaitre que la visco-

sité d'une huile est l'élément le plus sérieux d'appréciation de ses propriétés lubrifiantes. On possède de nombreux systèmes de viscosimètres, mais aucun ne s'est montré assez supérieur pour avoir été adopté comme type.

Les caractères d'un bon viscosimètre sont :

1° La précision et l'exactitude, c'est-à-dire le fait de donner toujours les mêmes résultats avec la même huile, non seulement sur le même instrument, mais encore sur tous les instruments du même modèle;

2° La facilité et la rapidité de la manipulation, et la réduction au minimum de coefficient personnel de l'opérateur;

3° La possibilité d'employer un instrument unique pour des huiles différentes et des températures différentes.

La presque totalité des viscosimètres en usage sont basés sur le principe de l'écoulement de l'huile par un orifice et de la mesure du temps employé pour le passage d'un poids donné de cette huile. Ce système ne se prête pas aux conditions indiquées ci-dessus. Il faut beaucoup plus de temps pour nettoyer l'instrument et le préparer pour l'essai que pour faire cet essai lui-même. Avec une bonne construction et des soins minutieux on peut obtenir des résultats précis avec des huiles bien propres. mais, si l'huile contient quelque particule étrangère qui se loge dans l'orifice d'écoulement, les indications sont entièrement faussées. De plus, les comparaisons obtenues entre des huiles différentes ont peu de valeur, parce que la densité intervient dans l'écoulement et le coefficient personnel joue un grand rôle dans les opérations. Il faut, d'ailleurs, avoir plusieurs orifices dans le même appareil suivant le poids spécifique des huiles, un petit pour les huiles légères, un plus grand pour les huiles lourdes.

Après avoir essayé un grand nombre de ces appareils dans le laboratoire du Philadelphia and Reading R. R., M. O.-S. Doolittle, chimiste de cette Compagnie, partant d'un principe énoncé il y a quelques années par M. S.-M. Babcock, dans le *Journal of Analytical Chemistry* a réalisé un viscosimètre de torsion qui, après un usage d'un an et demi, s'est montré capable de réaliser tous les desiderata énoncés plus haut et qui a remplacé tous les autres pour l'emploi courant. En voici une description sommaire d'après l'*American Engineer and Railroad Journal.*

Un fil d'acier est suspendu à un support fixe et se termine par le bas en une tige qui traverse un disque horizontal gradué pour permettre d'apprécier la torsion du fil. Au repos, un index fixe coïncide avec la marque zéro du disque. Un cylindre de 37 *mm* de diamètre sur 50 de hauteur est fixé à la tige qui traverse le disque et plonge dans un récipient contenant l'huile à essayer, lequel récipient est contenu dans un bain-marie chauffé à la température qu'on désire. Lorsque cette température est atteinte, on tourne la partie supérieure du fil de 360° soit un tour, au moyen d'un bouton à tête moletée après avoir mis le disque dans l'impossibilité de se déplacer, puis on laisse libre ce dernier, le cylindre plongé dans l'huile affecte donc une série d'oscillations sous l'influence de la torsion du fil, oscillations qui présentent une grande analogie avec celles d'un pendule.

S'il n'y avait pas de résistance, le disque gradué reviendrait à son

point de départ et l'amplitude des oscillations serait de 360° de part et d'autre; mais le frottement dû à la viscosité de l'huile réduit les amplitudes et cela d'autant plus que la viscosité est plus grande.

Cette réduction des amplitudes est un moyen très sensible de mesure de la viscosité.

La lecture des oscillations constitue une observation assez délicate. Voici comment on peut éviter certaines incertitudes dans le point de départ.

On tord, par exemple, le fil de 360° et on abandonne le disque à lui-même, dès que la rotation commence. Pour obtenir un point de départ absolu qui soit indépendant d'une erreur d'ajustage, on ne tient pas compte de l'angle de 360 décrit à l'origine; on relève la division à laquelle se termine la première oscillation. On n'observe pas le point où s'arrête la seconde de l'autre côté du zéro, et on lit le degré final de la troisième. La différence entre les degrés de la seconde observation et de la troisième, donne le retardement par la viscosité de l'huile. Si la première oscillation à gauche donne 355°,6, la seconde n'étant pas observée, et si la troisième à gauche donne 338°,2, la différence, qui est le retard, est 17°,4. Pour faire disparaître les erreurs, on opère deux fois successivement, en opérant la torsion à droite la première fois, à gauche la seconde. Les résultats doivent être identiques; si, cependant, il y a une légère différence, on prend la moyenne des deux résultats.

On tare l'instrument en opérant avec une dissolution de sucre pur et la viscosité s'exprime par le nombre de grammes de sucre pur de canne contenu dans 100 cm^3 de sirop à la température de 15° C. On opère sur un certain nombre de sirops de teneurs connues et différentes. On observe le retard d'amplitude pour chacun et on trace une courbe avec les teneurs en sucre pour abcisses et les retards angulaires pour ordonnées; cette courbe permet d'obtenir les degrés intermédiaires et de dresser une table qui accompagne chaque instrument. Cette table rend les observations faites avec divers instruments absolument comparables.

L'auteur a cherché à se rendre compte avec cet appareil de l'influence que le poids spécifique a sur les observations faites avec les instruments analogues basés sur le principe de l'écoulement par un orifice et dans lesquels la viscosité est exprimée en fonction de nombre de secondes que dure cet écoulement pour une même quantité de liquide.

Le viscosimètre à torsion a donné pour une huile donnée 86,4, la densité étant 0,9 par exemple. On fait une dissolution sucrée ayant la même viscosité, sa densité étant 1.4. Si on essaye les deux liquides au viscosimètre à écoulement de Saybolt, on trouve pour l'huile 35 3/4 secondes et pour la dissolution sucrée 30 1/4 secondes, ce qui fait voir l'influence du poids spécifique sur la durée de l'écoulement. On peut montrer d'une manière encore plus précise cette influence comme suit. On a constaté que la viscosité d'une huile de densité 0,9 est de 35 3/4 secondes au viscosimètre de Saybolt. On fait une dissolution sucrée donnant la même viscosité avec cet instrument et dont le poids spécifique est de 1,48. On essaye les deux liquides au viscosimètre à torsion, et on trouve pour l'huile 86,4, tandis que la dissolution de sucre donne 91,8. En d'autres termes, il faut faire une dissolution de sucre plus

visqueuse que l'huile, si on veut corriger l'erreur due à la différence de densité et avoir la même viscosité à l'appareil de Saybolt. Il est dès lors évident que tout instrument basé sur la durée de l'écoulement ne peut servir sans erreur très appréciable à la mesure de la viscosité de liquides de poids spécifiques différents.

Le viscosimètre à torsion échappe à cette objection. Il est applicable à toute espèce d'huiles, même si celles-ci ont un degré raisonnable d'impureté. On peut mesurer la viscosité à toute température et sans avoir à manipuler l'huile chaude. Ce point a une très grande importance parce qu'en général ce qu'on a besoin de connaître, c'est la viscosité de l'huile à la température à laquelle elle doit être employée et non à une température constante et toute de convention. Les viscosités relatives de deux huiles peuvent être très différentes à 90° et à 175°. On peut très bien opérer à cette dernière température avec un bain de paraffine ou d'huile peu inflammable pour chauffer le récipient contenant l'huile soumise à l'essai. Le viscosimètre à torsion est fabriqué par Bullock et Crenshaw, à Philadelphie.

Les moteurs à gaz en Allemagne. — Nous trouvons dans les journaux américains les renseignements suivants extraits d'un rapport de M. Frank H. Mason, consul général des États-Unis en Allemagne. Depuis quelques années, l'usage des moteurs à gaz s'est beaucoup répandu pour les applications où on a besoin d'une force de 75 à 100 *ch* et au-dessous. A l'Exposition d'électricité à Francfort en 1891, la plupart des dynamos étaient actionnées par des machines à gaz ou des moteurs thermiques autres que des machines à vapeur et ces appareils, quoique accessoires à l'Exposition, offraient autant de variété et d'intérêt que les appareils électriques qui formèrent la partie officielle.

Il y avait à cette époque en service en Allemagne environ 18 000 moteurs à gaz d'une puissance collective de 60 000 *ch* (ce qui fait une moyenne de 3 1/3 *ch* par moteur). Depuis lors, l'abaissement du prix du gaz et l'extension de l'emploi de l'éclairage électrique et de l'électrolyse a augmenté considérablement le nombre de ces moteurs dont l'Exposition de Francfort avait si brillamment démontré l'efficacité et les avantages économiques. Il serait difficile, en l'absence de statistique officielle, de connaître exactement le nombre actuel de ces moteurs, mais, si on considère que les deux principales fabriques allemandes de machines à gaz en ont livré en moyenne, pendant chacune des deux dernières années 1 950, on peut donc admettre que le nombre actuel n'est pas bien inférieur à 24 000 ou 25 000.

Les progrès faits dans la construction de ces machines, et la réduction de leur dépense de gaz sont très remarquables. Les premiers moteurs, en usage avant 1868, avaient des consommations extravagantes. La machine Lenoir, en 1861, dépensait 3 500 *l* par cheval et par heure, alors que les moteurs actuels dépensent 800 *l* pour les petites forces et 650 *l* pour que les grandes, de sorte que 600 *l* de gaz d'éclairage peuvent fournir une lampe électrique à incandescence de 16 bougies, soit une consommation de 37,5 *l* par bougie. Il paraît que la dépense a encore été réduite dans

les grandes installations qui emploient des moteurs allant jusqu'à 500 *ch*, où la consommation descend à 500 *l* par cheval et par heure.

On pourra apprécier le faible coût de la force motrice, surtout pour les petites industries, par les chiffres suivants donnant le prix actuel du mètre cube de gaz d'éclairage dans les principales villes industrielles d'Allemagne :

Altona, Brême et Mayence	0,245 *f*
Brefeld (avec réduction pour les grosses consommations).	0,238
Brunswick, Bonn et Strasbourg.	0,215
Magdebourg, Leipzig et Breslau (avec réduction)	0,215
Barmen (avec réduction).	0,210
Dantzig et Dresde	0,200
Berlin et Kōnigsberg.	0,195
Cassel, Dortmund, Elberfeld et Hanovre (avec réduction).	0,195
Francfort-sur-le-Mein (avec réduction).	0,190
Stettin, Essen et Cologne.	0,180
Bochum	0,170

Avec le plus haut de ces prix, le cheval-heure revient à 0,20 *f* pour les petites forces et à 0,15 *f* pour les grandes, et avec le prix le plus bas à 0,14 et 0,10 *f*, en ne considérant que le prix du combustible. Ces derniers chiffres paraissent encore assez élevés, car de bonnes machines à vapeur de moyenne puissance brûlant de 1 à 1,20 *kg* de charbon à 25 *f* la tonne ne dépenseraient, pour le même chapitre, que de 2 1/2 à 3 centimes par cheval et par heure. L'emploi du gaz d'éclairage est donc, quel que soit son bas prix, encore trop coûteux pour les moteurs à gaz de grande puissance.

Le chemin de fer électrique aérien de Liverpool. — Le chemin de fer électrique aérien de Liverpool a été ouvert le 6 mars 1893. La longueur exploitée a été de 8 *km* pendant l'année.

Voici les résultats obtenus pendant le second semestre, de juillet à fin décembre.

Le nombre des voyageurs transportés a été de 2 476 000, dont 260 000 de première classe et 1 294 000 de seconde, plus 922 000 ouvriers voyageant avec des billets d'aller et retour spéciaux.

Chaque train (il y en a eu 46 429) se compose de deux voitures à bogies accouplées ayant chacune un moteur et contenant ensemble 50 voyageurs, en moyenne, pour 114 places assises offertes. Ces voitures contiennent chacune 57 places, dont 16 de première et 41 de seconde. Elles sont munies de freins Westinghouse actionnés par des réservoirs d'air qu'on remplit aux stations.

Les recettes brutes se sont élevées, pendant le semestre, à 462 900 *f* et les dépenses à 343 300 *f*, soit 74 0/0 des recettes brutes. La différence a permis de servir un intérêt de 5 0/0 aux actions privilégiées et de 1 0/0 aux actions ordinaires, et 60 000 *f* ont été reportés à l'exercice suivant. Le capital dépensé pour la construction est de 13 750 000 *f*, soit 1 400 000 *f* par kilomètre.

La traction était payée à forfait aux entrepreneurs de la partie élec-

trique, à raison de 4 pence par train-mille, ce qui représente 25 centimes par train-kilomètre. La compagnie a repris la traction au 1[er] janvier de cette année et espère encore abaisser ce prix.

Voici, du reste, d'après un mémoire présenté à l'*Institution of Civil Engineers* par M. Parker, Ingénieur de la ligne, le détail des dépenses de traction pour les mois de juillet, août et septembre 1893.

		Juillet.	Août.	Septembre.
Direction		0,0260 f	0,0260 f	0,0260 f
Personnel	Station centrale	0,0386	0,0370	0,0392
	Trains	0,0672	0,0633	0,0661
Combustible		0,0368	0,0448	0,0770
Graissage		0,0088	0,0087	0,0081
Eau		0,0006	0,0008	0,0010
Fournitures diverses		0.0030	0,0065	0,0072
Nettoyage et entretien		0,0520	0,0613	0,0486
TOTAL		0,2330 f	0,2484 f	0,2720 f
A déduire, éclairage et signaux		0,0200	0,0169	0,0173
Dépenses de la traction		0,2130 f	0,2315 f	0,2547 f

Les parcours ont été, pour juillet 63 192 *km*, août 66 702, et septembre 65 430. Les consommations de combustible ont été, en poids, par train-kilomètre, de 5 *kg* environ, tout compris ; c'est du charbon tout-venant du Lancashire, dont le pouvoir calorifique n'est que 0,77 de celui du meilleur charbon de Galles. Le prix de ce charbon a doublé entre le mois de juillet et le mois de septembre, par suite des grèves dans les houillères, ce qui explique la différence des chiffres relatifs au combustible qu'on remarque dans le tableau précédent.

Les dépenses de traction indiquées ci-dessus sont certainement très réduites, mais la consommation de combustible de 5 *kg* par kilomètre peut paraître élevée ; pour un train de 38 *t* au complet, dont le poids se réduit à 33 1/2 pour 50 voyageurs, la dépense de combustible ressortirait à 150 *g*. Ce poids est notablement supérieur à celui que dépenseraient, dans des conditions ordinaires, des locomotives à vapeur (1) ; mais on ne peut émettre de jugement définitif, faute de connaître la proportion exacte de la consommation des machines fixes qui doit être affectée à l'éclairage électrique, le chiffre de 5 *kg* étant la consommation brute des moteurs dont la puissance sert à la fois à la traction et à l'éclairage. L'observation qui précède n'a d'ailleurs pas pour objet de critiquer l'emploi de la traction électrique qui était indiquée pour une application de ce genre, mais simplement de montrer que la supériorité économique

(1) Sur un chemin de fer que nous pourrions nommer, et dont la longueur est exactement la même, 8 *km*, la consommation de charbon par kilomètre, pour la moyenne de 7 années consécutives, ressort à 4,03 *kg* par kilomètre, ce qui, pour un train moyen de 52 *t*, machine de 20 *t* comprise, donne 78 *g* par tonne et par kilomètre, soit les 52 centièmes de la consommation du chemin de fer électrique. Si on considère la consommation par place offerte, la différence est encore plus grande, elle serait de 44 *g* pour Liverpool et 21 pour l'autre, soit 48 0/0.

de puissantes machines fixes sur des locomotives si souvent alléguée, ne suffirait pas en tout cas pour compenser les pertes inévitables dues à l'emploi d'agents intermédiaires pour la transmission de l'énergie.

La neige à New-York. — Les tempêtes de neige coûtent cher à New-York. Celle qui a régné du 12 au 14 février dernier a coûté au service du nettoyage environ 150 000 *f*, et encore l'enlèvement paraît-il en avoir été des plus incomplets. On a employé 1 207 tombereaux, dont le total des charges a été de 59 805 : la dépense a été de 2,91 *f* par charge. On peut estimer la hauteur moyenne de neige à 0,37 *m*, ce qui, sur une superficie de rues et places de 125 millions de mètres carrés, représente un volume de 46 millions de mètres cubes dont l'enlèvement, au prix ci-dessus indiqué, aurait coûté 9 1/2 millions de francs. On s'est donc contenté d'en enlever à peu près 1 1/2 0/0, et on a laissé le reste s'en aller par les voies naturelles.

Une roue Ferris à Londres. — On va, paraît-il, installer à Londres, à Earl's Court, une roue Ferris du genre de celle qui a eu un si grand succès à l'Exposition de Chicago, et dont nous avons parlé dans nos chroniques d'avril 1893, p. 575 et de septembre 1893, p. 289.

La roue aura 91,50 *m* de diamètre, de manière à avoir son point culminant à 100 *m* environ au-dessus du sol. Elle portera 40 caisses pour les excursionnistes. L'axe, formé d'un tube d'acier de 15 *m* de longueur et 2,13 *m* de diamètre, sera supporté par deux tours en charpente métallique : ces tours auront quatre étages, où se trouveront des restaurants et des attractions diverses; elles seront desservies par des ascenseurs hydrauliques.

Le mouvement sera donné à la roue par deux moteurs électriques de 50 *ch*. chacun, par l'intermédiaire de câbles métalliques et de roues à gorge. Les détails de construction seront sensiblement les mêmes que dans la roue de Chicago.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

JANVIER 1894

Liste des membres titulaires, honoraires et correspondants pour l'année 1894.

Rapport de M. CARPENTIER sur **l'orgue céleste** de MM. MUSTEL et ses fils.

L'instrument qui porte le nom d'orgue céleste est constitué par la réunion de deux instruments distincts, un orgue et un célesta. Ce dernier est un instrument créé par MM. Mustel, il y a une dizaine d'années, et qui rappelle l'harmonica à lames de verre bien connu. Son organe essentiel est une lame vibrante, disposée sur une caisse de résonance spéciale. Les lames sont attaquées par des marteaux, dont le mécanisme rappelle celui des pianos. Le célesta est employé fréquemment à l'état d'instrument séparé, mais son addition à l'orgue étend considérablement la puissance expressive de ce dernier, et l'union de ces deux instruments est la conséquence heureuse d'un enchainement logique.

La mécanique générale à l'Exposition de Chicago, par M. G. RICHARD.

Dans cette note succincte, notre collègue, M. G. Richard, se borne à l'indication des principales nouveautés mécaniques de l'Exposition de Chicago, en commençant par les faits intéressants que présente, à ce point de vue, la ville même, par exemple, les élévateurs servant à la manutention des grains, les abattoirs et leurs agencements mécaniques, le transport des maisons qui constitue une industrie tout à fait courante, puisqu'en 1890 on n'a pas transporté, parfois jusqu'à une centaine de mètres, moins de 1 710 maisons, présentant une longueur totale de 9 600*m*, dont quelques-unes à quatre ou cinq étages. On peut encore citer les voies ferrées de toute sorte, les agencements mécaniques des maisons, des transporteurs de monnaie des magasins, etc.

Au sujet de l'Exposition elle-même, M. Richard passe en revue rapidement les machines à vapeur, dont la grande majorité sont horizontales et sans condensation, parce que l'eau est relativement rare. Cependant les machines verticales commencent à se répandre.

A côté de ces types à marche lente, on voit des quantités de moteurs à grande vitesse à simple ou à double effet, à détente unique ou compound. On peut citer comme un des plus curieux, la turbine à vapeur de Laval, qui tourne à 20 000 tours par minute, avec une consommation de vapeur qui n'excède pas, dit-on, celle des bonnes machines à vapeur ordinaires.

Les chaudières de l'Exposition étaient presque toutes des chaudières à petits éléments et étaient chauffées au pétrole.

L'auteur signale en passant différents détails intéressants de la construction des moteurs à vapeur et des transmissions, les courroies, les paliers à billes, etc., et termine en disant quelques mots des machines-outils les plus remarquables.

A propos du **Referendum des Ingénieurs,** enquête sur l'enseignement de la mécanique, par MM. Dwelshauvers-Dery et J. Weiler, par M. G. Richard.

Nous avons rendu compte de cet ouvrage dans le *Bulletin* de novembre 1893, p. 505.

De l'emploi rationnel des houblons en brasserie, par M. E. Fleurent, préparateur des cours de chimie industrielle, au Conservatoire des Arts et Métiers.

L'introduction du houblon dans la bière a pour objet de lui donner un goût agréable et en même temps d'augmenter sa résistance à l'invasion des parasites microbiens qui trouveraient en elle un milieu favorable à leur évolution. La proportion de houblon est très variable suivant les bières. Dans les pale ale et stout anglais, elle est triple de ce qu'elle est dans la bière de Bavière. De plus, la manière dont se fait le houblonnage n'est pas indifférente à la qualité et à la conservation de la bière.

MM. Briant et Mesham ont étudié de très près les propriétés des houblons de brasserie et leur action sur les moûts et ont jeté une assez grande lumière sur cette question ; néanmoins, comme ces expérimentateurs ont opéré exclusivement au point de vue des méthodes et des produits anglais, il serait vivement à souhaiter de voir ces recherches reprises en France au point de vue de l'industrie nationale.

Nous ne pouvons entrer dans les détails de cette question un peu trop spéciale, nous nous bornerons à indiquer que ces recherches ont indiqué que les propriétés antiseptiques remarquables du houblon sont dues, non au tannin, mais à la résine contenue dans les grains de lupuline, comme l'avait d'ailleurs affirmé déjà Hayduck.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Janvier 1894

Notice biographique sur M. Reboul, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, par M. Delocre, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Utilité des chemins de fer d'intérêt local. Tarifs-formule d'exploitation. Examen des observations formulées par M. Colson, par M. Considère, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

Cette note a déjà paru dans les *Annales des Mines*, et nous nous en sommes occupés dans les comptes rendus d'octobre 1893, page 839.

Note sur le **nouveau mémoire de M. Considère,** par M. Colson, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Maître des requêtes au Conseil d'État.

C'est une réponse au mémoire précédent, dans laquelle l'auteur, sous une forme très courtoise, explique pourquoi il ne peut pas abandonner les idées qu'il défend, et qui ont d'autant besoin d'être plus défendues qu'elles ont moins de chances de devenir populaires. Il croit devoir opposer aux conclusions de M. Considère les quatre conclusions suivantes qui font bien voir les points de divergence qui le séparent de son contradicteur :

1° Si l'on n'avait à se préoccuper que de faire rendre aux chemins de fer le maximum d'utilité générale dont ils sont capables, sans tenir compte d'aucune autre considération, on devrait abaisser les tarifs au niveau du prix de revient partiel des transports, mais jamais au-dessous;

2° Tout abaissement de tarif qui, sans descendre au-dessous de cette limite, diminue le produit net sur un chemin de fer en déficit, produit à la fois une certaine utilité, parce qu'il provoque de nouveaux transports, et une certaine injustice, parce qu'il diminue le prix des transports qui se faisaient antérieurement et que cette diminution a pour effet de dégrever gratuitement certains particuliers qui trouvaient déjà avantage à user du chemin de fer avec les anciens tarifs et de grever, en leur lieu et place, des contribuables à qui le chemin de fer ne profite pas directement;

3° L'utilité produite, en pareil cas, est d'autant moindre et l'injustice d'autant plus grande qu'il s'agit de marchandises pour lesquelles un même abaissement de tarif donne moins de développement au trafic;

4° En conséquence, sur un chemin de fer en déficit, un abaissement de tarif de nature à diminuer le produit net ne doit être réalisé que s'il est susceptible de produire un développement de trafic considérable, relativement au sacrifice à faire sur la recette, c'est-à-dire, en fait et sous réserve de quelques cas exceptionnels, s'il porte sur des marchandises de faible valeur, eu égard à leur poids.

Sur un chemin de fer qui n'est pas en déficit, la solution à donner à la question dépend de l'affectation que recevront les excédents de recette.

L'auteur termine en constatant que les divergences entre son opinion et celle de M. Considère sur les coefficients à introduire dans la formule de ce dernier tiennent uniquement à leur désaccord sur le but à atteindre, mais il reconnait volontiers, comme il l'a toujours fait d'ailleurs, que cette formule est destinée à rendre de grands services et, pour cela, il est à désirer que son emploi se répande le plus possible.

Note sur les **relations entre la pression, le volume et la température de l'acide carbonique,** par M. C. Walckenaer, ingénieur des Mines.

Cette note a déjà paru dans les *Annales des Mines* et nous en avons rendu compte dans le *Bulletin* de novembre 1893, page 511.

ANNALES DES MINES

12e LIVRAISON DE 1893

Sur les **Moteurs électriques,** à courants alternatifs, par **M. C. Walckenaer,** ingénieur des Mines.

L'emploi des courants alternatifs pour la transmission de l'énergie sous forme de travail mécanique présente des difficultés spéciales qui ont inspiré, dans ces derniers temps, les recherches des inventeurs. La production des champs magnétiques tournants au moyen de courants combinés est une solution rationnelle en même temps qu'élégante. Elle a l'inconvénient d'exiger des lignes à trois fils au moins et il en résulte des difficultés si le réseau doit servir à la fois à l'éclairage et à la force motrice. On les surmonte toutefois de diverses manières et l'emploi de moteurs capables d'être attelés sur des distributions existantes de courants alternatifs pour lumière, simplement monophasés, est une de ces solutions.

Le but de la note est d'examiner successivement les principes sur lesquels reposent les systèmes de moteurs à courants alternatifs qui sont aujourd'hui les mieux connus, celui des moteurs synchrones et celui des moteurs à champ tournant, puis de décrire un exemple récent de l'application de ces principes à une distribution d'énergie par courants diphasés.

Après avoir passé en revue d'une manière générale les moteurs à courants alternatifs, l'auteur examine la question de la distribution par courants diphasés des mines de Decize exécutée par le Creusot. Cette distribution comporte une station centrale génératrice, placée à La Machine dans des conditions de production de force économique, et un certain nombre de réceptrices actionnant des treuils, des ventilateurs ou produisant de la lumière, situées à des distances de la station génératrice variant de 1 200 à 4 100 *m*.

Bulletin des **accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur,** pendant l'année 1892.

Il s'est produit, pendant l'année 1892, 32 accidents qui ont amené la mort de 14 personnes et ont causé des blessures à 16 autres, soit au total 30 victimes. Il s'est produit 14 accidents à des chaudières chauffées en tout ou en partie à l'extérieur dont 7 à petits éléments, 9 à des chaudières non chauffées à l'extérieur et 9 à des récipients ou appareils assimilables, réchauffeurs, etc.

Au point de vue des causes qui ont amenés les accidents, on peut attribuer 13 de ceux-ci à des conditions défectueuses d'établissement, 15 à des conditions défectueuses d'entretien, 8 à un mauvais emploi des appareils et 4 à des causes non précisées.

Si le nombre total des causes présumées est de 40 pour 32 accidents, cela tient à ce que dans 8 cas, l'accident a paru provenir de deux causes.

Le rapport signale en dehors des accidents de chaudières et récipients un grave accident survenu, en juin 1892, à bord d'un paquebot, où la rupture d'un conduit coudé en fonte formant réservoir intermédiaire entre deux cylindres a amené la mort de quatre hommes et causé des brûlures graves à plusieurs autres.

En 1891, il y avait eu 31 accidents avec 18 morts et 9 blessés, total 27 victimes. On voit que les chiffres des deux années successives diffèrent assez peu.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

Réunion de Saint-Étienne

Séance du 3 février 1894.

Communication de M. Leproux sur quelques **procédés employés pour réduire les frais de main-d'œuvre** dans les aciéries aux États-Unis.

Le prix très élevé de la main-d'œuvre aux États-Unis fait qu'on n'hésite pas à remplacer, partout où c'est possible, les hommes par des machines même très compliquées. Une autre raison, non moins curieuse, de l'emploi des machines est l'arme de guerre qu'elles constituent pour les patrons dans les luttes qu'ils ont à soutenir contre les associations ouvrières.

Comme exemple de machines employées dans les aciéries pour remplacer les bras de l'homme, l'auteur cite les mélangeurs pour la fonte, le démoulage mécanique, le chargement mécanique des fours, les appareils à manœuvrer les lingots pour le réchauffage, les appareils pour amener les lingots aux laminoirs, le transport des rails, poutrelles, billettes, etc.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Janvier 1894

Rapport annuel présenté par M. Walther-Meunier

Comptes de recettes et dépenses de la Société industrielle dé Mulhouse du 1er janvier au 31 décembre 1893.

La Société comptait, au 31 décembre 1893, 560 membres ordinaires, 48 membres correspondants et 8 membres honoraires. Les recettes se sont élevées pendant l'exercice à M. 84 989, dont 23 960 pour cotisations, et 27 861 pour les intérêts provenant de fondations, le reste provient de loyers, de recettes des écoles professionnelles et de subventions.

Les dépenses ont été supérieures; elles se sont élevées à M. 89 993 dont 10 449 pour les publications; le déficit a été prélevé sur le fonds de réserve. Les dépenses relatives aux diverses écoles dépendant de la Société industrielle entrent pour un chiffre important dans ces comptes.

Sur les **dérivés carboxylés de la diméthylaniline** (acides diméthylamidobenzoïques), par M. Ch. Lauth.

Note sur la **solubilisation des gommes de l'Inde** au moyen de l'eau oxygénée, par M. Horace Koechlin.

Bulletin de Février 1894

Les archives du vieux Mulhouse et l'intérêt que présenterait la publication d'une série de documents inédits. — Conférence faite à la Société industrielle, dans la séance du 31 janvier 1894, au nom du comité d'histoire, de statistique et de géographie, par M. Ernest Meininger.

Le conférencier cite un certain nombre de pièces intéressantes existant dans les archives de Mulhouse et relatives à l'histoire de cette république. Il donne une analyse d'un récit fort ancien d'un voyage fait à Paris en 1602 par le bourgmestre et le greffier, récit qui se distingue par l'esprit d'observation et le sens critique fort remarquable du narrateur, le greffier Zichle. Ce voyage avait pour objet la présence des envoyés de Mulhouse à la prestation de serment à Notre-Dame pour la confirmation du traité conclu entre le roi Henri IV et les cantons suisses et villes alliées. Les détails de ce voyage sont très intéressants, parfois même amusants. Le conférencier fait remarquer que les vins d'honneur jouent un rôle important dans la narration de Zichle « car si, dit-il, les vieux Suisses étaient fort buveurs, sous ce rapport les Mulhousiens étaient leurs dignes alliés ».

M. Meininger propose de constituer au moyen de souscriptions un fonds d'une certaine importance affecté à la publication de ces archives, travail qu'on doit considérer comme un devoir patriotique qui s'impose, laquelle publication, paraissant périodiquement, formerait un supplément au bulletin du Musée historique.

Rapport sur les **expériences exécutées par MM. Ludwig et Weber** sur la batterie de chaudières et la machine à triple expansion de l'établissement de MM. Kullmann et Cie, à Wittenheim, pour l'étude de l'application de la surchauffe à ces conditions de marche, par M. A. Weber.

L'installation de production de vapeur se compose de cinq chaudières à trois bouilleurs semblables de 2,61 m^2 de surface de grille et 60 de surface de chauffe, timbrées à 12 *kg*, avec un réchauffeur Green de 320 tubes chauffé par la fumée des cinq générateurs. Un réchauffeur Uhler à foyer indépendant est disposé près de la machine à vapeur.

Celle-ci est un moteur à triple expansion à distribution Frikart. Le petit et le moyen cylindres sont en tandem sur la même ligne d'un côté du volant, le grand cylindre dont la contre-tige actionne le condenseur est du côté opposé. Les manivelles sont à angle droit. Les diamètres des cylindres sont respectivement 470, 700 et 1 000 *mm*; la course est pour tous de 1 400 *m*.

Pour les chaudières, on mesurait l'eau d'alimentation avec des réser-

voirs jaugés et le combustible était pesé, ainsi que les déchets, sur une bascule imprimant les poids sur des tickets.

Pour la machine, on relevait des diagrammes de quart d'heure en quart d'heure sur les trois cylindres simultanément avec des indicateurs Crosby.

L'eau condensée dans les enveloppes était recueillie et pesée.

Les essais ont été faits en mars et avril 1893. Ils ont eu pour but de comparer la marche avec et sans surchauffe et aussi l'influence de la pression en faisant fonctionner les générateurs à 11 et à 5 1/2 *kg*. Les résultats remplissent plusieurs tableaux très développés.

Une partie des expériences avait pour objet de comparer les houilles belges avec celles de Louisenthal. Même en tenant compte du prix plus élevé des premières, on a trouvé en leur faveur une économie de plus de 22 0/0.

Au point de vue de la pression, le rendement a été moindre à pression réduite, mais la différence n'est pas très grande et on peut en attribuer une partie à des causes étrangères intervenues entre les deux séries d'essais faits à quelques semaines de distance.

L'économie en vapeur résultant de la surchauffe a été assez faible, 10,45 0/0; mais si, on tient compte de la plus grande quantité de chaleur contenue dans la vapeur surchauffée, l'économie réellement réalisée dans le moteur se réduit à 7 1/2 0/0, et si on considère que le rendement de la houille en calories utiles a été un peu moindre avec surchauffe, on trouve que l'économie définitive en combustible brûlé par unité de travail n'est que d'environ 4 0/0.

Les auteurs n'en concluent pas contre la surchauffe, au contraire; il résulte simplement de ces faits que si le moteur donne un bénéfice par l'emploi de la vapeur surchauffée, il ne faut pas que le combustible soit plus mal brûlé ou la perte par rayonnement extérieur augmentée par la présence du surchauffeur. La machine expérimentée étant très perfectionnée, c'est-à-dire à très haute pression, à triple expansion, enveloppes de vapeur, etc., il nous semblerait qu'on pourrait ajouter que les avantages de la surchauffe sont d'autant moins grands que le moteur est meilleur, et c'est bien, avec quelques difficultés dans la conduite et l'entretien des appareils, ce qui avait fait abandonner la surchauffe il y a trente ans, après les applications si répandues dans la marine que nous avons rappelées dans la Chronique de mai 1892, page 672.

Quoi qu'il en soit, les essais dont nous nous occupons ont fait voir qu'on a pu, avec la pression de 11 1/2 *kg* et une vitesse moyenne de 70 tours par minute en développant un travail total d'environ 700 *chx*, obtenir un cheval indiqué sur le piston avec une consommation horaire de vapeur, *y compris* l'eau condensée dans les enveloppes, descendant à 5,20 *kg*, la proportion d'eau condensée étant de 0,54 *kg*. Dans ces conditions, on réalise le cheval indiqué avec 0,62 de houille belge brute ou 0,55 à 0,59 de houille pure. La consommation maxima, dans des conditions défavorables, pression réduite et suppression de la surchauffe, a été de 6,64 *kg* de vapeur dont 0,62 *kg* condensée dans les enveloppes. La consommation du combustible est ressortie (charbon de Louisenthal) à 1,07 de houille brute humide et 0,82 *kg* de houille pure, la différence

en moins est de 22 0/0 pour la vapeur et de 30 0/0 pour la houille brute.

Nouveaux procédés de teinture présentés au concours pour un des prix généraux de la Société industrielle sous la devise *L'observation est une deuxième balance pour le chimiste.* Rapport de MM. E. Kopp, E. Noelting et E. Grandmougin.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 9. — 5 *mars* 1894.

Chauffage et ventilation de l'hôtel de ville de Hambourg, par J. Strebel.

Machine frigorifique américaine à compression d'ammoniaque, par M. F. Gutermuth.

Aperçu sur la technologie de la filature du lin, par G. Rohn.

Machines-outils pour le travail du bois à l'Exposition de Chicago, par H. Fischer *(suite)*.

Notes métallurgiques sur New-Jersey et le Lehigh Valley, par E.-F. Dürre *(fin)*.

Groupe de Berlin. — L'Exposition de Chicago.

Groupe de Mannheim. — Les cubilots et leur revêtement.

Correspondance. — Machines frigorifiques.

N° 10. — 10 *mars* 1894.

Les locomotives compound à l'Exposition de Chicago, par E. Bruckmann *(suite)*.

Machines frigorifiques américaines à compression d'ammoniaque, par M. F. Gutermuth *(suite)*.

Modes de consolidation des foyers intérieurs circulaires de chaudières, par O. Knaudt.

Roues de chemin de fer en fonte durcie, par W. Hartmann.

Turbine-hélice propulsive de Thornycroft, par Gorris.

Parachute du puits d'extraction Hanovre, par R. Kühn.

Diagramme de la marche d'un tiroir à détente Meyer, par K. Reinhardt.

Longerons de locomotives en métal coulé.

Groupe de Bavière. — Nouvelle disposition de condensation pour machines à vapeur ou machines frigorifiques.

Groupe de Berlin. — Graissage central pneumatique.

Bibliographie. — Les moteurs à gaz et à pétrole, par P. Vermand.

Variétés. — Comparaison entre la grande industrie et les petits ateliers.

N° 11. — 17 *mars* 1894.

Le paquebot-poste belge ***Marie-Henriette***.

Les locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Les chaudières à vapeur à l'Exposition de Chicago, par R. Stribeck *(suite)*.

Aperçu sur la technologie de la filature du lin, par G. Rohn *(suite)*.

Outils américains, par H. Heimann.

Groupe de Bochum. — Exposition minière à Gelsenkirchen. — Canal de Dortmund à l'Ems.

Groupe de Thuringe. — Les lois pour la protection des ouvriers et l'industrie.

Variétés. — Les écoles techniques supérieures allemandes pendant le semestre d'hiver 1893-94.

N° 12. — 24 *mars* 1894.

Calcul de la résistance des surfaces planes, maintenues par des armatures ou des entretoises dans les chaudières à vapeur, et résultats des expériences les plus récentes sur la question, par C. Bach.

Le paquebot-poste belge ***Marie-Henriette*** *(fin)*.

Machines frigorifiques américaines à compression d'ammoniaque, par M. F. Gutermuth *(fin)*.

Groupe de Hesse. — Purgeurs automatiques d'eau condensée pour cylindres à vapeur.

Groupe de la Lenne. — Traverses métalliques pour chemins de fer.

Variétés. — Réunion annuelle et exposition de l'Association des électriciens allemands.

Correspondance. — Installation des turbines de la fabrique de ciment de Weisen. — Théorie des machines frigorifiques à acide carbonique. — Exposition de Chicago. — Calcul des guides de gazomètres.

N° 13. — 31 *mars* 1894.

Calcul de la résistance des surfaces planes maintenues par des armatures ou des entretoises dans les chaudières à vapeur, et résultats des expériences les plus récentes sur la question, par C. Bach *(fin)*.

Coût de la production de la vapeur, par C. Janss.

Aperçu sur la technologie de la filature du lin, par C. Rohn *(fin)*.

Groupe de Chemnitz. — Caisse d'assistance pour les ingénieurs.

Groupe du Palatinat-Saarbruck. — Voyage à l'Exposition de Chicago.

Bibliographie. — Technologie du tissage par G. Willkom. — Règlements pour les chauffeurs, par A. Haage.

Variétés. — Régulateur automatique pour chaudières à vapeur, par O. Horenz. — Exposition électrotechnique à Leipzig.

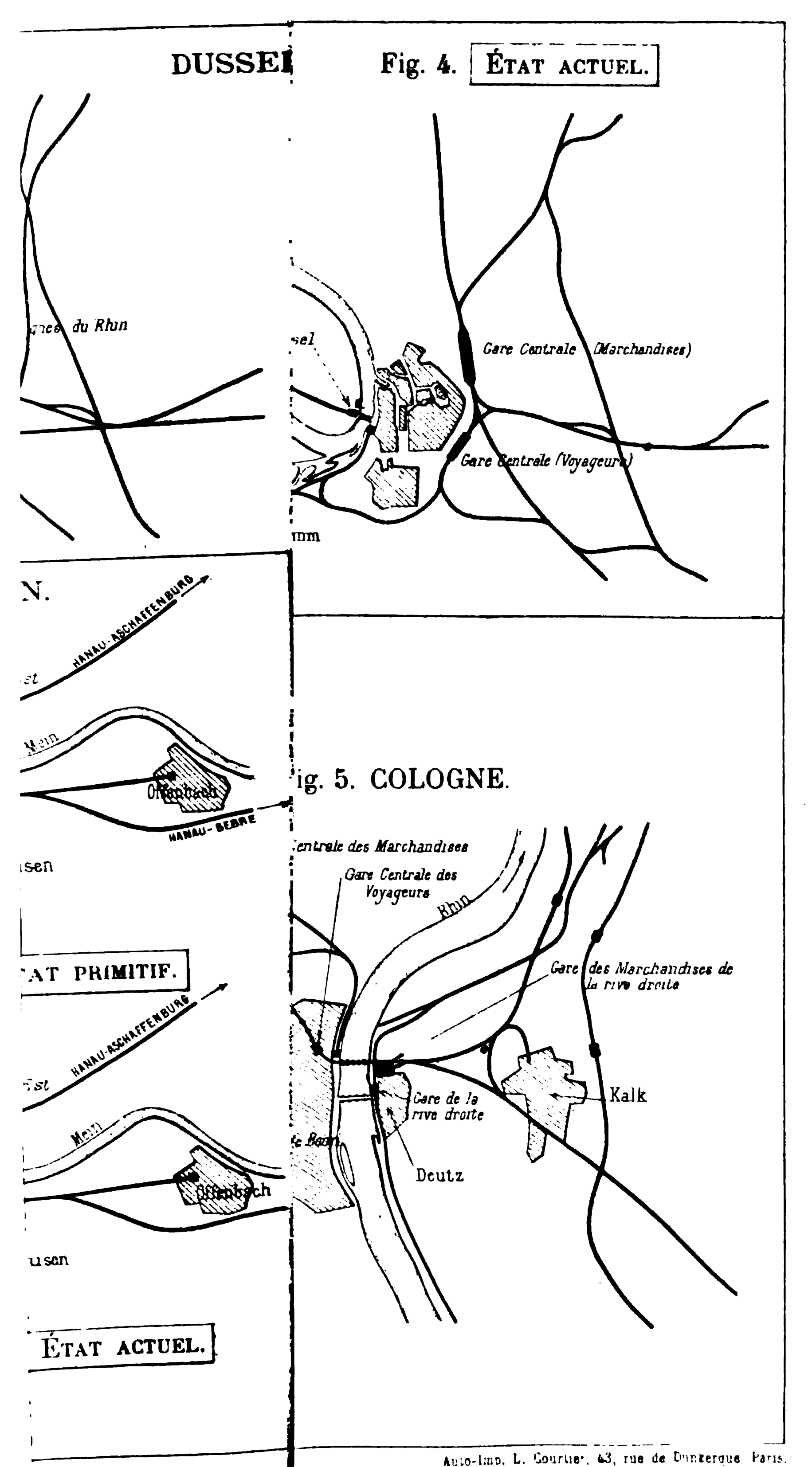
Pour la Chronique et les Comptes rendus :

A. Mallet.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

A. de Dax.

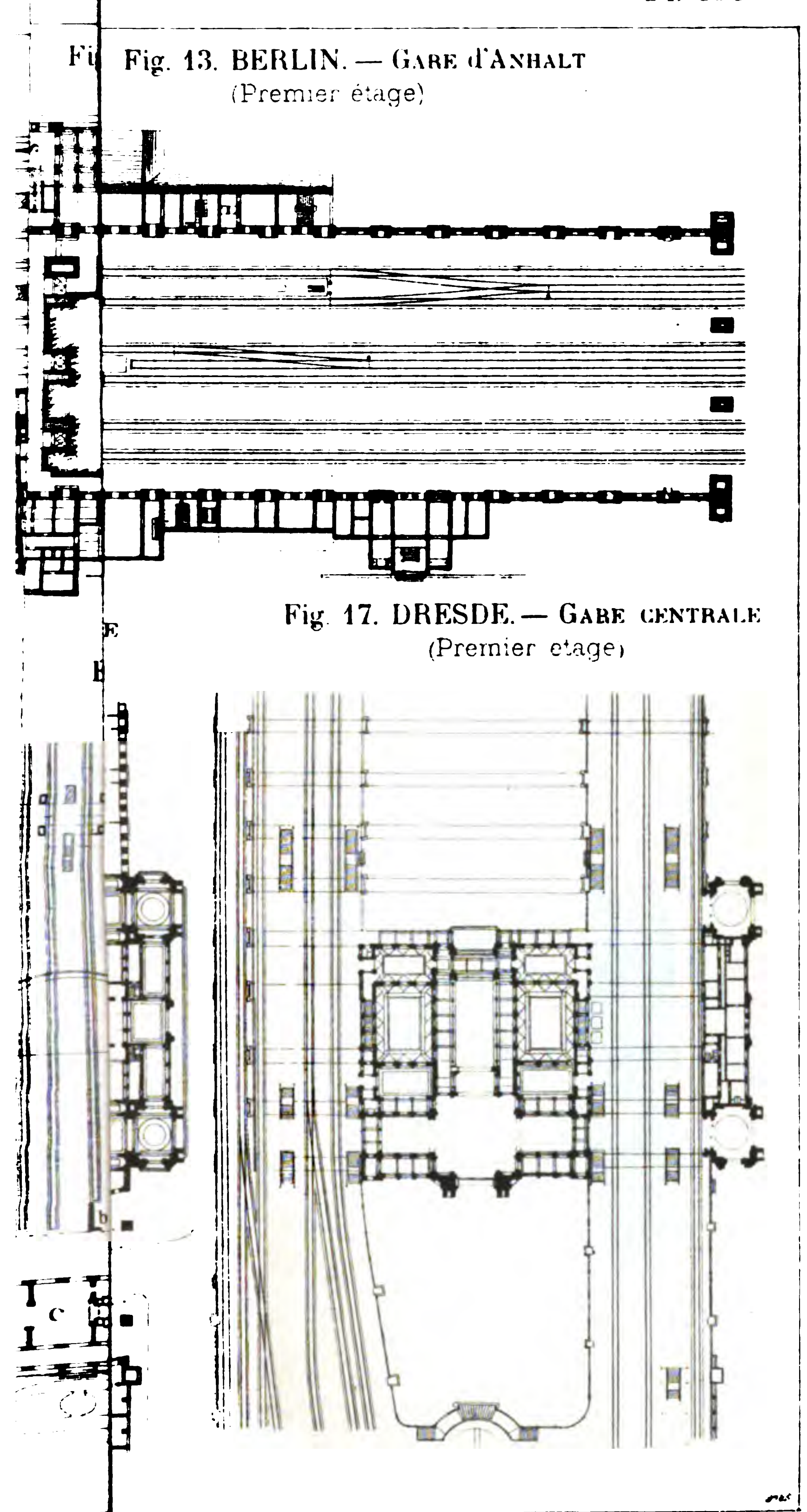
IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 7426-4-94. — (Encre Lorilleux).



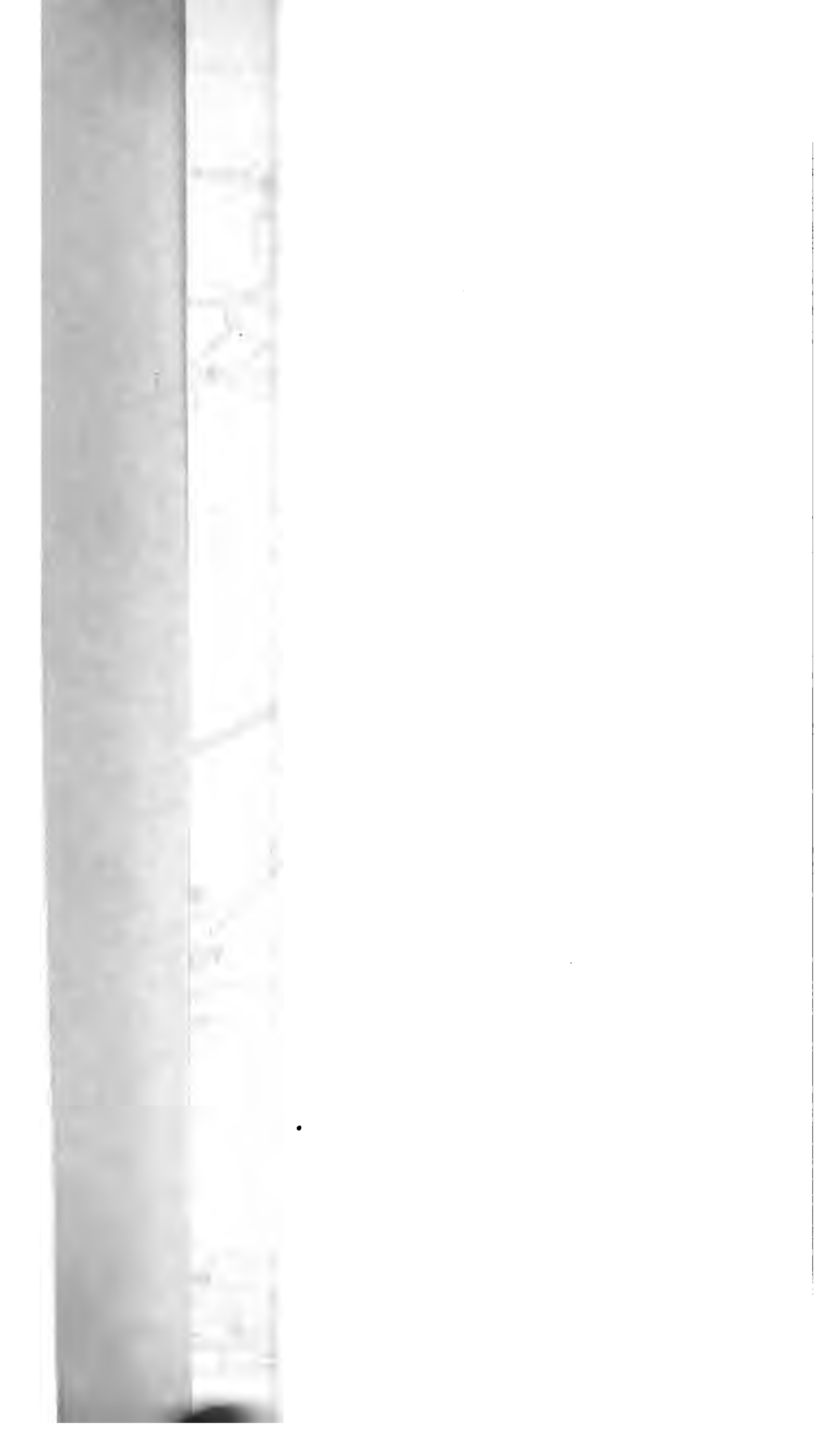
Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.

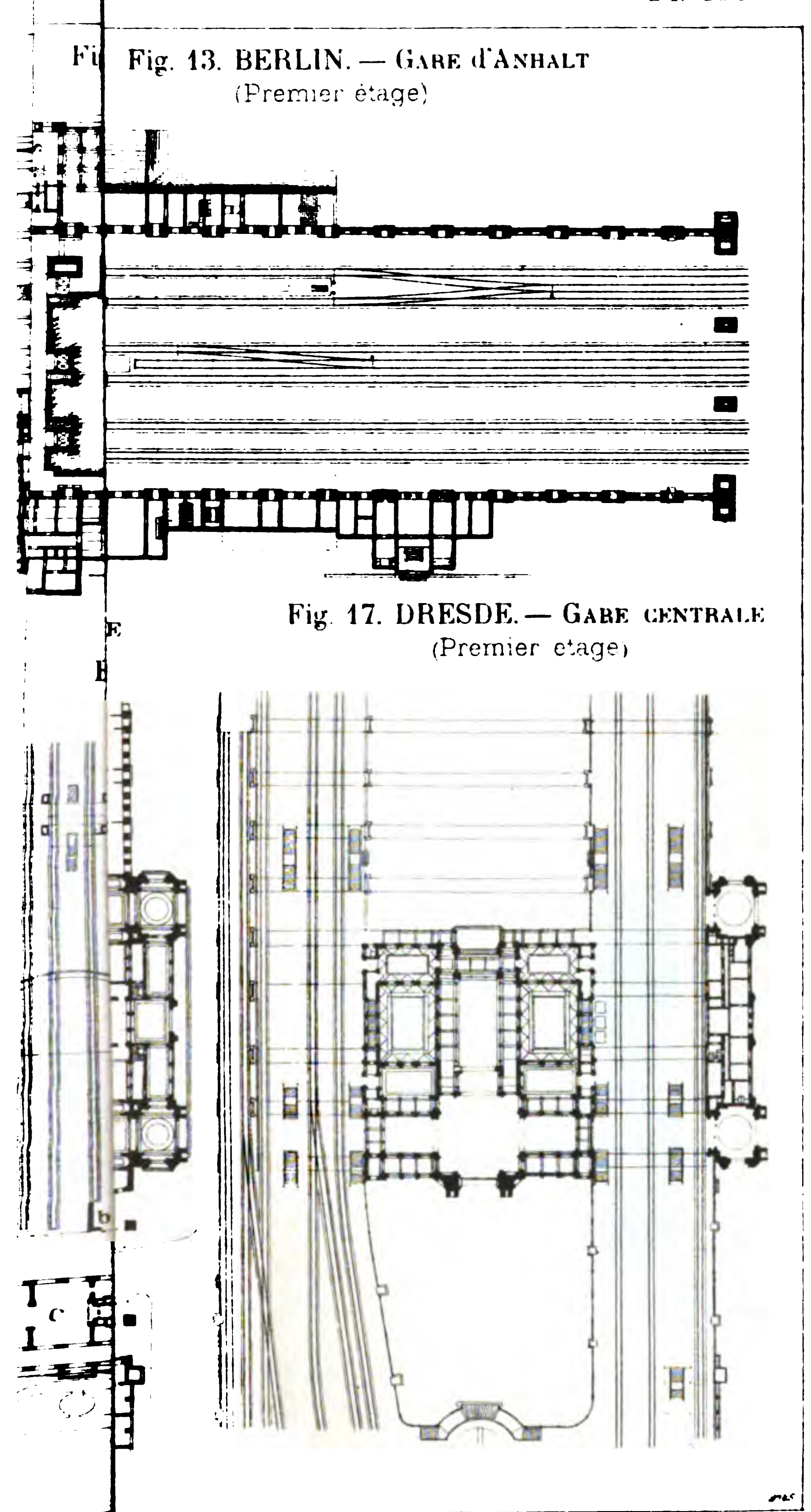
Fig. 13. BERLIN. — Gare d'Anhalt
(Premier étage)

Fig. 17. DRESDE. — Gare centrale
(Premier étage)



Auto-Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris.





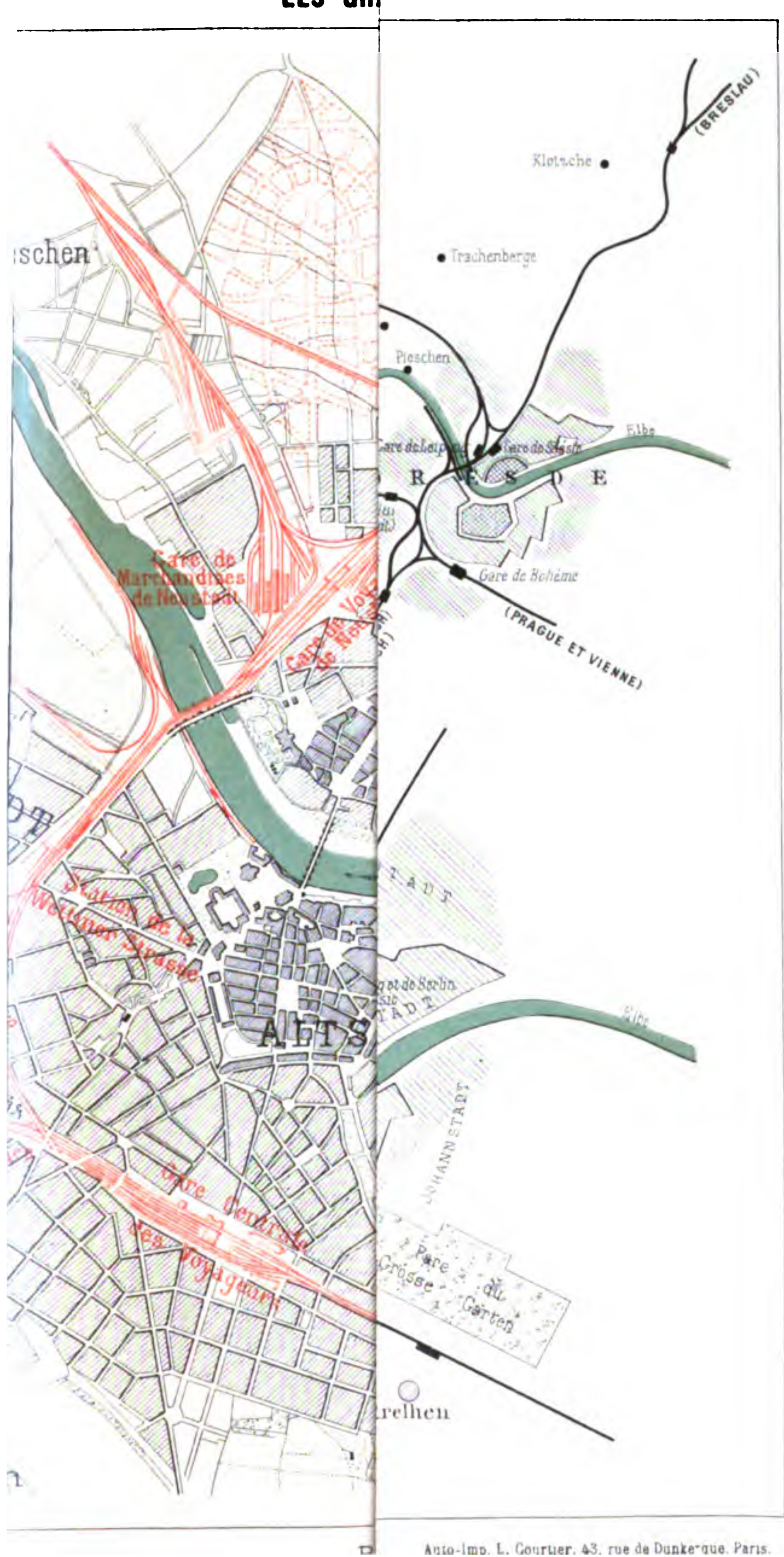
Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque. Paris.



FRANCFORT S. MEIN
SALLE D'ATTENTE BUFFET



FRANCFORT S. MEIN
HALLE DES VOYAGEURS



Auto-Imp. L. Courtier. 43, rue de Dunkerque, Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS

BULLETIN

D'AVRIL 1894

N° 4

Sommaire des séances du mois d'avril 1894 :

Mémoires contenus dans le Bulletin d'avril 1894 :

11° *Le Canadian Pacific Railway*, par MM. L. Périssé et A.-V. Roy, page 410;

12° *Compte rendu du 32e Congrès des Sociétés savantes*, par M. H. Rémaury, page 494;

13° *Chronique n°* 172, par M. A. Mallet, page 498;

14° *Comptes rendus*, id. page 509;

15° *Bibliographie*, id. page 520;

16° *Planches n°* 103, 104.

Pendant le mois d'avril 1894, la Société a reçu :

33805 — De MM. Gauthier Villars, Éditeurs. *Machines frigorifiques à air*, par M. R. E. de Marchena (petit in-8° de 196 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33806 — Du même. *Construction et Résistance des Machines à vapeur*, par M. Alheilig (petit in-8° de 224 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33807 — De l'Office du Travail. *La Petite Industrie (Salaire et durée du travail). Tome I. L'Alimentation à Paris* (in-8° de 300 p.). Paris, Imprimerie nationale, 1893.

33808 — De M. W. Haywood. *Artesian Well* (petit in-8° de 47 p. avec 3 pl.). London, 1893.

33809 — De MM. le Dr Oscar May et Ph. Delahaye. *Installations électriques d'éclairage et de transport d'énergie. Commentaire sur les mesures de précaution prescrites par l'Union des Compagnies Allemandes d'Assurance contre l'Incendie* (in-8° de 63 p.). Paris, 1894.

33810 — De l'Engineering Society of the School of Practical Science Toronto. *Papers read before n° 6, 1892-1893*. Toronto, 1894.

33811 — De M. J. M. Bel (M. de la S.). *The Gold Fields of Siam (Limited)* (petit in-4° de 71 p.). Paris, Chaix et Cie, 1894.

33812 — De M. P. Betim Paes Leme (M. de la S.). *Relatorio da Commissão do Ministerio da Industria viação e Obras publicas na Europa, relativo aos annos de 1892 e 1893* (in-4° de 87 p.). Paris, Challamel, 1894.

33813 — De la Société Alsacienne de constructions mécaniques. *Manivelle de sécurité, système Dubois, appliquée aux crics de levage de la Compagnie des chemins de fer de l'Ouest*, par M. Bouteloup (in-4° de 8 p.). Paris, Vve Ch. Dunod, 1893.

33814 — Du même. *Rapport fait par Ed. Sauvage, au nom du Comité des Arts mécaniques, sur le cric à manivelle de sûreté, système Dubois, de la Société Alsacienne de constructions mécaniques* (petit in-4° de 3 p.). Paris, Chamerot et Renouard, 1892.

3815 — De M. A. Kaindler (M. de la S). *Société Franco-Canadienne pour la fabrication de la pâte de bois. Notes et Rapports* (petit in-4° de 42 p.). Paris, 1894.

33816 — De la Società degli Ingegneri e degli Architetti in Torino. *Atti della Società. Anno XXVII, 1893.* Torino, 1893.

33817 — De M. A. Dumas (M. de la S.). *Nouvelles Études sur le Canal de Panama* (in-4° de 86 p.). Arcis-sur-Aube, L. Frémont, 1894.

33818 — Du même (M. de la S.). *L'Achèvement du Canal de Panama* (in-8° de 94 p.). Arcis-sur-Aube, L. Frémont, 1894.

33819 à 33830 — De M. Guerbigny (M. de la S.). *Lignes Métropolitaines dans Paris.* Dossier comprenant 12 pièces, 1893.

33831 — De la Société d'Agriculture, Sciences et Industries de Lyon. *Annales, 7e série, tome premier, 1893.* Paris, J.-B. Baillière et fils, 1894.

33832 — De MM .Gauthier-Villars, Éditeurs. *Machines frigorifiques à gaz liquéfiable,* par M. R.-E. de Marchena (petit in-8° de 184 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33833 — De M. A. Ronna (M. de la S.). *Assainissement agricole de la Seine* (grand in-8° de 4 p.). Paris, L. Maretheux, 1894.

33834 — De M. Ch. Lucas (M. de la S.). *Caisse de défense mutuelle des Architectes. Bulletin. 1re série, 3e volume, n° 1. Mars 1894. Annuaire* (grand in-8° de 35 p.). Paris, Chaix et Cie, 1894.

33835 — De MM. Fanchon et Artus, Éditeurs. *Traité des chemins de fer, tome II. Superstructure,* par M. Aug. Moreau (grand in-8° de 743 p.). Paris, Fanchon et Artus, 1894.

33836 — De l'Inspector General of Customs. *List of the Chinese, Light-Houses, Light-Vessels, Buoys, and Beacons for 1894.* Shanghai, 1894.

33837 — Du Syndicat de l'Explosif la « Schnebelite ». *Opinion de la presse française et étrangère sur les récentes expériences de la « Schnebelite » comme poudre de guerre, de chasse et de mine, faites à Argenteuil le 24 janvier 1894* (in-8° de 70 p.). Paris, Chaix, 1894.

33838 — De M. Sandberg (M. de la S.). *Description of Sandberg's New Rail Sections, 1894* (une feuille petit in-4°).

33839 — De M. H. Paur (M. de la S.). *Reden gehalten bei der Trauerfeierlichkeit für Herrn Dr J. Rudolf Wolf, Professor der Astronomie und Direktor der eidg. Sternwarte in der Predigerkirche zu Zürich am 9. Dezember 1893* (in-8° de 15 p.). Zürich, Zürcher und Furrer, 1894.

33840 — Du même (M. de la S.). *Dreiunddreissigstes Bulletin der Gesellschaft ehemaliger Studierender des Eidgenössischen Polytechnikums in Zürich, April 1894.* Zürich, Zürcher und Furrer, 1894.

33841 — De M. J.-H. Glennon. *Velocity of Combustion of an Explosive under variable Pressure* (in-8° de 3 p.).

33842 — De M. James Forrest. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. CXV, 1893-1894, Part. I.* London, 1894.

33843 — De M. E. Cornuault (M. de la S.). *Conférence sur les appareils d'utilisation du gaz*, par MM. Cornuault, Melon et Salanson (in-8° de 62 p.). Paris, P. Mouillot, 1894.

33844 — De M. Dwelshauvers-Dery (M. de la S.). *Laboratoire de mécanique appliquée de la Faculté technique de l'Université de Liège. Rapport sur les essais de 1893-1894* (in-8° de 24 p., avec 1 pl.). Liège, 1894.

33845 — De Mgr Rougerie. *Le Globe marin* (in-8° de 4 p. et 1 pl.).

33846 — Du même. 1° *Le globe marin ou globe producteur de courants semblables aux courants marins* (grand in-4° de 12 p., avec atlas de 9 cartes); 2° *les courants naturels des mers comparés avec les courants artificiels du globe marin* (grand in-4° de 43 p.). Foix, J. Francal, 1894.

Les Membres nouvellement admis pendant le mois d'avril 1894, sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

M.-Ph.	Biéber,	présenté par MM.	Canet, du Bousquet, E. Lippmann.
A.	de Brochocki,	—	A. Mallet, Molinos, Zbyszewski.
R.	Dubois,	—	Morandiere, Ribail, Whaley.
Ph.-A.	Gandillon,	—	Bourdon, Vigreux, Mesureur.
X.	Hoffer,	—	Blot, de Dax, Leclaire.
A.-P.-N.	de Laville,	—	Bronne, de Dax, Hersent.
M.	Paciurea,	—	de Dax, J. Pillet, L. Rey.
P.-A.	Peterson,	—	du Bousquet, de La Vallée-Poussin, de Dax.
E.	Vautelet,	—	Fleury, de La Vallée-Poussin, Périssé.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS D'AVRIL 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 6 AVRIL 1894

PRÉSIDENCE DE M. DU BOUSQUET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

A l'occasion du procès-verbal de la précédente séance, M. DE TEDESCO, au nom de M. ED. COIGNET comme au sien, dit qu'il ne peut accepter les conclusions de M. Bonna. Ce dernier a parlé d'une épreuve à la pression faite sur deux tuyaux en ciment à ossature métallique doublés d'une enveloppe métallique intérieure chargée d'assurer l'étanchéité absolue; l'armature métallique de l'un des tuyaux était formée d'acier rond et celle de l'autre d'acier profilé en ┬. De ce qu'il s'est produit un suintement sur la rivure du côté des aciers ronds plutôt que du côté des aciers profilés, on ne saurait conclure à l'infériorité des aciers ronds, mais seulement à une défectuosité de rivure.

Pour arriver à une conclusion catégorique, il faudrait se livrer à une enquête minutieuse sur le mode de construction du tuyau.

M. BONNA fait observer que l'opinion de M. de Tedesco est difficile à admettre, d'abord parce qu'il ne s'agissait pas de deux tuyaux distincts, mais d'un seul tuyau de 4 *m* coupé en deux bouts de 2 *m* pour faire l'essai des joints; par suite, l'épaisseur du tuyau comme le soin apporté à sa construction étaient les mêmes; en outre, il ne s'est pas produit un suintement en un seul point du côté de l'armature en acier rond, mais un suintement sur toute la longueur du joint, ce qui exclut l'hypothèse d'un défaut accidentel de rivetage.

Du reste, des expériences plus complètes seront faites prochainement, M. Bonna en rendra compte à la Société : il croit qu'elles confirmeront son dire.

M. LE PRÉSIDENT dit qu'il y a lieu de penser qu'après les expériences de M. Bonna, la question se trouvera complétement élucidée.

M. le Président signale une lettre qu'il vient à l'instant de recevoir de M. Cottancin au sujet de la *construction en ciment armé.*

Dans cette lettre, très développée, M. Cottancin critique vivement l'emploi des armatures qui sont simplement reliées par des attaches, quel que soit d'ailleurs le profil des fers rond, carré, plat, en I ou en †; dans ces conditions, dit-il, on fait travailler le ciment par adhérence, ce qui est fâcheux. En outre, l'emploi des formules de résistance devient, dans ces conditions, extrêmement compliqué, et, presque impossible dans la pratique.

Il conclut en disant que ces procédés de construction sont surannés, que le seul système rationnel et recommandable est le système d'armature sans attache, qu'il a imaginé, qui permet de faire travailler le ciment uniquement à la compression et le métal à l'extension ou à la compression, suivant sa position. Le ciment ne travaillant plus par adhérence, tout danger de fendillement est écarté et on peut ainsi appliquer les formules usitées pour les travaux métalliques; les calculs sont très simples dans ces conditions. On pourra, dès lors, en toute sécurité employer la construction en ciment armé aux travaux les plus importants.

La lettre de M. Cottancin sera déposée aux archives, à la disposition des personnes que la question intéresse.

Sous le bénéfice de ces diverses observations, le procès-verbal de la précédente séance est adopté.

M. LE PRÉSIDENT a le regret d'annoncer le décès de :

M. Philippe (Georges), Ingénieur civil, ancien élève de l'École Polytechnique, Contrôleur civil suppléant à Sfax, membre de la Société depuis 1887;

M. Berruyer (Victor), Ingénieur de la maison F. Séraphin et ses Fils, membre de la Société depuis 1883;

M. Barrault (Émile), Ingénieur conseil en matière de propriété industrielle, membre permanent du Comité international pour la protection de la propriété industrielle, Arbitre rapporteur près le Tribunal de Commerce de la Seine, ancien Président de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale des Arts et Manufactures, membre du Comité de la Société de 1873 à 1880, membre de la Société depuis 1854.

Un discours a été prononcé sur la tombe de M. Émile Barrault par M. X. Laprade au nom de la Société et au nom de l'Association amicale des Anciens Élèves de l'École Centrale; M. le Président propose que ce discours soit publié au *Bulletin* pour témoigner des regrets que cette mort inopinée cause à la Société. *(Approbation.)*

A l'occasion de l'Exposition de Chicago, un certain nombre de nos Collègues ont reçu des distinctions honorifiques. Ce sont :

MM. N.-F.-D. Barbier, J.-A.-M.-L. Carpentier, P. Darblay, promus officiers de la Légion d'honneur;

MM. P. Arbel, A. de Bonnard, A. Bricard, A. Charbonnier, L. de Chasseloup Laubat, M. Demoulin, A. Donon, L.-P. Dufès, G. Alexis-Godillot, J. Hurtu, A. Lacroix, E.-F. Lemaître, Ch.-A. Loonen,

E.-F. Neveu, S. Pozzy, Alfred Cornaille, nommés chevaliers de la Légion d'honneur.

Au nom de la Société, M. le Président adresse à ces collègues toutes ses félicitations. *(Applaudissements.)*

M. le Président a le plaisir d'annoncer que notre collègue M. P. Boubée a été nommé Vice-Président du Collège des Ingénieurs et Architectes de Naples, et membre de la Commission permanente pour l'unification des méthodes d'essais des matériaux dont le président actuel est M. le professeur Tetmayer qui a remplacé M. le professeur Bauschinger, décédé.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, liste qui se trouve à la suite du procès-verbal.

M. le Président signale entre autres : 1° un travail de M. Kaindler concluant à la possibilité d'établir avec succès au Canada une fabrique de pâte mécanique de bois pour la papeterie. M. Kaindler se met, par sa lettre d'envoi, à la disposition de ses Collègues pour tous renseignements complémentaires qui lui seraient demandés ;

2° L'étude complète d'un avant-projet de réseau de lignes métropolitaines à Paris, par M. G. Guerbigny. Notre Collègue a déposé tout récemment ce projet au Ministère des Travaux publics, à la Commission supérieure de l'Exposition universelle de 1900 et au Conseil municipal ; il dit, dans sa lettre d'envoi, qu'il a tenu à compléter par ce travail le dossier de ses communications à la Société sur ce même sujet ; il espère que les pouvoirs publics n'imposeront pas à la population parisienne un projet souterrain généralement condamné d'avance par l'opinion.

3° Enfin, M. le Président signale également un rapport de notre collègue M. Pedro Bétim, adressé au Gouvernement Brésilien sur les achats de matériel de travaux publics fait pour son compte en Europe. Ce rapport est accompagné d'une lettre qui fait ressortir l'intérêt qu'ont les industriels français à étudier les besoins du Brésil et à se mettre en relations commerciales avec lui.

M. R. Soreau fait remarquer l'intérêt du rapport officiel de M. Pedro Bétim au Ministre des Travaux Publics du Brésil. A ce rapport est annexé un tableau très instructif donnant la nomenclature des achats, leur prix et le nom des fournisseurs. Il est à remarquer que dans l'année 1892 et les huit premiers mois de 1893, c'est-à-dire dans les vingt mois qui ont précédé la révolution brésilienne, les achats en Europe ont dépassé 15 millions de francs. On voit quelle est la vitalité du Brésil, arrêtée pendant quelque temps, mais qui, selon toute probabilité, va reprendre bientôt une vigueur nouvelle.

M. le Président dit que notre collègue, M. F. Robineau, a bien voulu frapper gracieusement et spécialement pour la Société, une médaille en souvenir du voyage aux Etats-Unis ; au nom du Comité, M. le Président lui adresse à ce sujet ses très sincères remerciements et il propose à l'Assemblée de s'associer à ces remerciements. *(Applaudissements.)*

Cette médaille sera adressée à tous les collègues qui ont pris part à ce voyage.

M. Pierre Rey a la parole pour faire une communication sur le *calcul* et *la composition des pièces fléchies en ciment à ossature métallique.*

Après la remarquable communication de MM. Coignet et de Tedesco, M. P. Rey se bornera à exposer la méthode de construction qu'il a arrêtée de concert avec M. Dumesnil, dans les parties seules où cette méthode diffère de celle de M. Coignet, c'est-à-dire dans la composition de l'ossature métallique des pièces fléchies et dans l'application du calcul à la détermination de leurs dimensions.

Les expériences faites jusqu'à ce jour n'ont pas paru à MM. Dumesnil et P. Rey assez concluantes pour permettre l'établissement d'une théorie donnant les conditions de résistance du fer et du ciment dans une pièce fléchie, aussi MM. Dumesnil et P. Rey s'appuient-ils toujours sur l'expérience et n'utilisent-ils le calcul que pour comparer les conditions de résistance de la pièce à construire avec une pièce de même section expérimentée préalablement.

M. P. Rey expose d'abord la méthode de construction qui consiste à placer dans la région tendue un ou plusieurs maillages carrés superposés qui, comme le prouve d'ailleurs l'expérience, indépendamment de la résistance à la traction des fers longitudinaux, en rompant la masse du ciment, évitent la production de craquelures et augmentent par suite notablement la résistance à la flexion.

MM. Dumesnil et P. Rey ne pensent pas qu'il soit utile d'employer l'acier pour les pièces fléchies où il est facile, avec une légère augmentation d'épaisseur, de faire travailler le métal à un coefficient suffisamment faible pour que son allongement n'entraîne pas la rupture du ciment; MM. Dumesnil et P. Rey emploient de préférence les fers carrés en éliminant les fers profilés parce que cette forme n'est judicieuse qu'autant que le métal travaille isolément à la flexion, ce qui n'est pas le cas dans les pièces ossaturées fléchies où le métal est toujours tendu ; les fers carrés doivent être préférés aux fers ronds parce que, pour une même section ils adhèrent mieux au ciment et que, s'allongeant moins, ils fatiguent moins le ciment.

M. P. Rey développe les raisons et décrit les expériences qui l'ont conduit avec M. Dumesnil à adopter ce système de construction ; ces expériences se résument dans un tableau qui donne pour chaque épaisseur les dimensions de l'ossature correspondante.

M. P. Rey explique ensuite comment, à l'aide de ce tableau, on peut appliquer le calcul à la détermination des dimensions d'une pièce fléchie.

MM. Dumesnil et P. Rey pensent que, dans l'état actuel de la question, chaque fois que l'on opère avec des ciments ou des fers de provenance différente ou même avec des ciments de même provenance mis en œuvre d'une façon différente , il est prudent de faire des expériences, d'en suivre strictement les résultats et de se mettre en garde contre les théories basées jusqu'à présent sur des faits par trop isolés.

M. le Président remercie M. P. Rey des détails intéressants qu'il vient de donner à la Société sur une question dont les applications semblent devoir s'étendre assez rapidement.

L'ordre du jour appelle la communication par M. Lucien Périssé du travail présenté à la Société sur le *Canadian Pacific Railway* par MM. L. Périssé et A. V. Roy.

M. Lucien Périssé prend la parole et, après avoir demandé l'indulgence de la Société pour deux des plus jeunes de ses membres, fait en quelques mots l'historique de la *Compagnie du Chemin de fer Pacific Canadian*. Sur une carte exposée, au-dessous de laquelle avait été placé le profil, il indique à grands traits les différentes lignes du réseau, puis fait passer sous les yeux de la Société une série de photographies rapportées de son voyage. Il indique que la longueur totale de la ligne d'un océan à l'autre, c'est-à-dire entre Halifax et Vancouver, est de 5 860 *km*, et que la longueur du réseau est de 10 696 *km*.; si on y ajoute les lignes des États-Unis dépendant de la même direction, on arrive au total de 12 800 *km*. L'examen de quelques chiffres de statistique montre la situation florissante de la Compagnie et indique l'importance des capitaux engagés dans cette entreprise.

Après avoir indiqué à grands traits les origines du *Canadian Pacific Railway*, son réseau et son importance, M. L. Périssé fait une analyse des six chapitres qui constituent le mémoire.

Chapitre I. — *Constructions et ouvrages d'art*. — Il est indiqué tout d'abord combien les chemins de fer en Europe diffèrent des chemins de fer américains; quand on construit une ligne, le trafic n'existe pas et c'est la voie de transport qui crée ce trafic. Aussi la voie n'est-elle, à proprement parler, qu'une voie provisoire destinée à être posée aussi rapidement et aussi économiquement que possible; pour cela on emploie des moyens très spéciaux; comme l'on fait peu d'ouvrages d'art (tranchées, tunnels, etc.), on a peu de terre à sa disposition et au lieu de remblais on traverse les dépressions de terrains au moyen de ponts de chevalets en bois; ceci est possible étant donné l'extrême bon marché du bois au Canada. Ce n'est que plus tard qu'on amènera de la terre et qu'on ensevelira les ponts de chevalets sous les remblais qui les remplacent.

La voie a une largeur à peu près semblable à celle de nos voies françaises (1,435 *m*), elle est constituée de traverses de 16 *cm* d'épaisseur et de rails en acier pesant de 28 à 36 *kg* le mètre (type Vignole). La voie n'est pas toujours clôturée; mais lorsqu'elle l'est, les clôtures sont très primitives; de plus l'on est obligé de prendre des précautions spéciales contre les bestiaux et contre un ennemi autrement redoutable : la neige. C'est pourquoi en plaine l'on emploie des barrières spéciales pour empêcher la neige de s'accumuler sur la voie; dans la traversée des montagnes, on construit de véritables tunnels à neige pour garantir la voie de la chute des avalanches.

Après avoir indiqué ce qui a trait à la voie proprement dite, M. L. Périssé donne de nombreux renseignements sur les ponts. Ceux-ci, construits d'abord en bois, sont remplacés après quelques années par des ponts métalliques; ces derniers sont de deux sortes : ponts articulés du système américain, ponts à rivure rigide d'après les méthodes européennes, ces derniers presque exclusivement construits en acier. A ce sujet il est donné les principales indications extraites du dernier cahier des charges du Canadian Pacific Railway; ce cahier des charges a été rédigé

par M. E. Vautelet, Assistant-Ingénieur en chef, sous la direction de M. P.-A. Peterson, Ingénieur en chef de la Compagnie.

M. L. Périssé examine rapidement les questions des sabots, du poids des travées, soit à tablier inférieur, soit à tablier supérieur, avant d'arriver aux exemples les plus typiques des ponts construits par le chemin de fer: pont articulé ordinaire, pont de Lachine, de Sainte-Anne et Vaudreuil, du Sault Sainte-Marie; ponts en arc de la rivière du Saumon et de Stony Creek dans les montagnes Rocheuses. Enfin, il donne quelques détails au sujet des ouvrages en maçonnerie, des stations qui sont la plupart du temps en bois et des élévateurs à grain dont la construction est tout à fait spéciale : celle-ci est faite au moyen de planches superposées à plat, ce qui peut être relativement économique par ce fait que le bois ne vaut que 10 francs le mètre cube dans les scieries de la Colombie anglaise où la Compagnie va s'approvisionner.

Chapitre II. — *Organisation générale du trafic.* — Le service de l'exploitation se fait par divisions et chacune de ces divisions se subdivise à son tour en sections; la longueur moyenne de celles-ci est d'environ 200 *km*. Quant au mouvement des trains, nous relevons seulement que l'heure est divisée pour l'Amérique en quatre régions qui varient d'une heure chacune; de plus, à partir de Fort-William, le temps est basé sur le système des 24 heures, c'est-à-dire qu'au lieu de dire 1 heure, 4 heures, 5 heures après midi, on dit 13 heures, 16 heures, 17 heures, etc.

La vitesse commerciale moyenne des trains (arrêts compris) est de, pour les trains de voyageurs, 34 *km* à l'heure en hiver, 50 *km* environ en été, et 20 *km* pour les trains de marchandises. Les signaux et le personnel des trains sont à peu près les mêmes qu'en France, mais dans les stations il n'y a en général que deux employés, un de jour et un de nuit. Quant aux tarifs, ils sont, en Amérique, essentiellement variables et par suite il est très difficile d'en donner un extrait précis.

Chapitre III. — *Locomotives.* — Là où les Américains sont passés maitres, c'est dans la construction des locomotives ; les machines à la fois puissantes, stables et bon marché permettent de trainer des trains lourds sur des voies à fortes rampes et à courbes de faibles rayons. Les locomotives américaines dont M. L. Périssé nous présente un petit modèle à l'échelle, sont toutes munies d'un boggie à l'avant. C'est grâce à cette disposition qu'on peut faire circuler des trains marchant à 100 *km* à l'heure sur une voie dont les courbes ont un rayon bien inférieur à celui des courbes des grandes lignes européennes. Par exemple, le State Empire Express fait le trajet entre New-York et Buffalo à raison d'une marche moyenne de 84 *km* à l'heure (arrêts compris) et les courbes de la voie qui suit les bords de la rivière Hudson sont facilement franchies grâce au boggie d'avant.

M. L. Périssé donne des renseignements comparatifs entre les différents types des machines du Canadian Pacific Railway et indique le détail du prix de revient du dernier type exposé à Chicago. Ce type revient à 914 francs la tonne, chiffre qui descend à 770 francs pour les machines à marchandises de construction ordinaire, tandis que le prix des locomotives importées des États-Unis revient à 1180 *f*.

Pour terminer le chapitre des locomotives, M. L. Périssé donne quelques renseignements sur les charrues à neige et grattoirs, ainsi que sur le chasse-neige rotatif, employé dans les montagnes. Ce chasse-neige rotatif se compose d'un plateau à ailettes monté sur axe horizontal; ce plateau a 3,30 *m* de diamètre et est mis en mouvement au moyen d'une machine spéciale, l'ensemble de l'appareil étant poussé par une ou plusieurs locomotives.

Chapitre IV. — *Wagons*. — Ce n'est qu'avec un confortable bien plus grand que celui qu'on trouve en France, qu'on peut supporter au Canada, sans fatigue, les longs séjours qu'on est obligé de faire en wagon; les sleepings-cars sont agencés avec luxe, et l'on n'a pas oublié non plus les voyageurs peu fortunés et les immigrants pour lesquels le Colonist sleeping-car offre un confortable relatif.

Le chapitre des wagons se termine par quelques détails techniques au sujet de la construction des roues en fonte, des trucs de wagons et des différents systèmes d'accouplement.

Chapitre V. — M. L. Périssé donne quelques renseignements sur la question de la *colonisation* des provinces de l'Ouest: Manitoba, Alberta, etc., dans lesquelles le terrain ne vaut pas plus de 50 *f* environ l'hectare.

Il y joint quelques vues photographiques des principaux hôtels construits par les Compagnies de chemin de fer pour attirer les touristes dans les montagnes Rocheuses.

Chapitre VI. — Ce chapitre est consacré aux *services accessoires* de chemin de fer: Télégraphes, Compagnie d'Express, qui correspond au service des colis postaux et des messageries, enfin Compagnies de bateaux appartenant au Canadian Pacific Railway: ligne des lacs de Fort-William à Owen Sound, ligne Transpacifique pour le Japon et la Chine, ligne de Vancouver à Victoria et ligne de l'Alaska.

En terminant, M. L. Périssé expose que cette grande artère transcontinentale a apporté la vie et la prospérité dans le Far-West canadien et a créé un débouché pour les terres fertiles du Canada central.

Il explique que c'est grâce à elle qu'on a pu mettre en valeur les richesses forestières et minières des provinces du Nord-Ouest et de la Colombie anglaise, et qu'on a pu amener dans les prairies des colons, dans les montagnes des touristes, de façon à laisser bientôt entrevoir pour le pays une ère de prospérité et de richesse toujours grandissante.

Enfin, il envisage les choses de plus haut: c'est le Canadian Pacific Railway qui, par sa position géographique, est la plus courte de toutes les lignes à travers le continent américain; par lui Halifax est mis directement en communication avec Vancouver, port d'attache des steamers du Japon, de la Chine et de l'Australie. De plus, il va être créé prochainement une ligne entre Montréal et l'Europe avec escale à Cherbourg probablement. Qui dit que ce ne sera pas cette voie à travers le Canada, devenu complètement indépendant, que la France emploiera alors pour communiquer avec l'Extrême-Orient? En tout cas, la ligne du Canadian Pacific Railway fournira, avec la ligne Transsibérienne, le moyen aux reporters excentriques de faire le tour du monde en moins de 80 jours.

M. le Président remercie MM. L. Périssé et A.-V. Roy de leur très intéressante communication : il adresse aussi ses félicitations à M. L. Périssé sur la manière dont il l'a présentée avec la plus grande lucidité. Il félicite en même temps à ce sujet M. S. Périssé présent à la séance. *(Applaudissements.)*

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. de Brochocki, Gandillon et de Laville, comme membres sociétaires. MM. P. Biéber, R. Dubois, X. Hoffer, M. Paciurea, P.-A. Péterson et E. Vautelet sont reçus comme membres sociétaires.

M. le Président est heureux de saluer les nouveaux collègues admis à la Société et en particulier MM. P.-A. Peterson, Ingénieur en chef du *Canadian Pacific Railway* et Président de la Société Canadienne des Ingénieurs civils, et E. Vautelet dont M. L. Périssé a entretenu l'assemblée. *(Applaudissements.)*

La Société des Ingénieurs Civils de France est heureuse de recevoir parmi ses membres, des Ingénieurs aussi distingués, et adresse ses remerciements à notre collègue et correspondant au Canada, M. L. de Lavallée-Poussin, qui a bien voulu se charger de transmettre leurs demandes d'admission, demandes qui nous sont si agréables.

M. L. Rey demande l'autorisation de saluer à son tour M. M. Paciurea qui vient également d'être admis ce soir dans la Société et qui occupe dans son pays une situation très importante.

M. Paciurea est Inspecteur général des Ponts et Chaussées en Roumanie. C'est un ami de la France. Il a fait partie du voyage aux États-Unis et tous les collègues qui l'y ont vu ont été heureux de se trouver en relations avec lui.

La séance est levée à 11 heures.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 20 AVRIL 1894.

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance précédente est adopté.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance; on la trouvera reproduite à la suite du procès-verbal.

M. le Président signale plus spécialement le très intéressant *Traité des Chemins de fer* par M. Aug. Moreau, dont le deuxième volume vient de paraître.

La Société a également reçu de M. Astruc un pli cacheté accompagné d'une lettre.

Conformément à l'usage, ce pli et la lettre seront déposés aux archives de la Société.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que Mgr Rougerie, Évêque de Pamiers, dont les théories, sur *les Causes et explications des courants maritimes et aériens*, seront exposées au cours de la séance par notre Collègue, M. Baudon de Mony, a bien voulu nous faire l'honneur d'assister à la séance et il est certain d'être l'interprète de la Société en lui adressant tous ses remerciements *(Applaudissements.)*

Mgr Rougerie, après avoir remercié M. le Président, ajoute qu'il sollicite l'indulgence de la Société pour des recherches qu'il ne considère pas encore comme arrivées à leur dernière expression.

La parole est à M. Remaury pour faire le *compte rendu du Congrès des Sociétés savantes.*

M. Remaury rappelle qu'en 1891 il a eu, comme cette année, l'honneur de faire partie de la délégation de notre Société et il a été très sensible à cette nouvelle marque de confiance.

La communication de M. Remaury devant être reproduite *in extenso* au Bulletin, nous n'en donnerons ici que les conclusions auxquelles se sont associés ses Collègues.

Il n'est pas besoin de rappeler qu'il se trouve à Paris des associations pour l'instruction des classes ouvrières, dont un grand nombre de nos Collègues font partie.

Enprovince se trouvent également des associations importantes pour améliorer le sort des ouvriers et leur donner une partie du capital intellectuel de leurs patrons.

Comme vétéran des industries de la forge et de la mine, M. Remaury engage ses jeunes collègues à redoubler de zèle dans cette voie, et il estime qu'une affectueuse sollicitude à l'égard des collaborateurs ouvriers est le meilleur moyen de les détourner d'une agitation stérile qui les ruine.

M. le Président remercie M. Remaury de son compte rendu présenté avec autant de charme que de science et adresse ses compliments à notre Collègue, M. H. Chevalier, dont le nom a été cité en termes élogieux.

M. de Dax a la parole pour sa communication sur le *Torpilleur de haute mer « le Chevalier ».*

Au moment où l'on discute les questions de puissance et de vitesse de nos navires de guerre, où l'on fait des comparaisons avec les flottes étrangères, il ne sera peut-être pas sans intérêt de montrer que nos constructeurs civils français ne veulent pas rester en arrière et qu'eux aussi étudient et perfectionnent notre matériel naval.

M. de Dax a parlé, il y a quelque temps, du *Jauréguiberry,* l'un des meilleurs cuirassés d'escadre de notre flotte; il apporte aujourd'hui des renseignements sur un torpilleur de haute mer, *le Chevalier,* dont les essais récents ont donné d'excellents résultats. Ce torpilleur sort des ateliers de notre collègue M. Aug. Normand, dont l'éloge n'est plus à faire en cette matière.

Depuis peu, M. Normand a déjà livré à la marine francaise trois bateaux de ce type : *le Dragon*, *le Grenadier* et *le Lancier*.

Le dernier venu, *le Chevalier*, diffère un peu des précédents et présente certaines particularités intéressantes.

Voici ses principales dimensions :

Longueur entre perpendiculaires.	44,00 *m*
Largeur à la flottaison	4,38 *m*
Profondeur de carène au milieu	1,35 *m*
Déplacement prévu.	119,5 *tx*

Le rapport de la largeur à la longueur est à très peu près de 10 0/0, tandis que *le Lancier*, son prédécesseur direct, avait 42 *m* de long et 4,4 de large, soit un rapport de 10/95 et jaugeait 120,3 *tx*.

De cette différence de tonnage et aussi, par suite, des dispositions adoptées pour les aménagements intérieurs, il résulte que *le Chevalier* ne peut embarquer que 17 *t* de combustible, alors que *le Lancier* en emportait 22.

On verra plus loin les distances et vitesses que permet d'obtenir cet approvisionnement.

Coque. — L'une des parties les plus intéressantes de ce type de bateau est l'arrière dont voici les principales caractéristiques :

Grande dimension de la voûte;

Gouvernail disposé en avant des hélices;

Rotation, dans le même sens, des deux propulseurs dont les plans de rotation se recouvrent partiellement.

Dès 1890, M. Normand émettait l'opinion que le gouvernail, placé en avant des hélices, devait avoir une puissance giratoire au moins égale à celle qu'il aurait à l'arrière, à la condition, toutefois, que, dans le premier cas, l'eau inclinée par le gouvernail pût reprendre sa direction normale avant d'arriver aux hélices.

Le gouvernail fut donc mis en avant sur *le Lancier* et en arrière sur le torpilleur identique *le Dragon*.

Les durées de giration et les facilités de gouverner furent les mêmes et plutôt en faveur du *Lancier*.

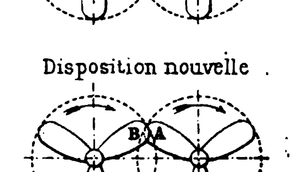
Ces résultats décidèrent M. Normand à appliquer aussi au *Chevalier* cette disposition qui présente certains avantages. Elle supprime, en effet, une partie de la quille arrière; le gouvernail sort moins souvent de l'eau dans les mouvements de tangage, et la rupture de la colonne d'eau sur l'une de ses faces est moins fréquente aux grandes vitesses.

Le Chevalier est, ainsi qu'il a déjà été dit, mû par deux hélices placées chacune dans un plan transversal différent. Il en résulte que l'on a pu, comme dans les navires analogues, rapprocher les arbres et que les cercles décrits par l'extrémité des ailes se recouvrent partiellement. De là une diminution de la saillie latérale des propulseurs, saillie qui est souvent une cause d'avarie.

Les dimensions de ces hélices sont :

Diamètre	1,785 *m*
Pas moyen.	2,760 *m*

Jusqu'à présent dans les bateaux actionnés par deux hélices la rotation de celles-ci avait lieu en sens contraire. Si l'une avait le pas à droite, l'autre avait le pas à gauche.



Dans *le Chevalier* les hélices ont le même pas, à droite, et tournent dans le même sens.

Cette disposition est préconisée par M. Normand pour les raisons suivantes :

Si l'on examine ce qui se passe dans le cas de deux hélices tournant en sens contraire, il est facile de voir que l'eau actionnée par l'une des ailes, en A par exemple, prend un mouvement ascensionnel ; l'aile B qui marche aussi de bas en haut se meut donc dans un fluide ayant un mouvement de même sens que le sien propre et qui par conséquent fuit en quelque sorte devant elle.

Dans la seconde disposition, au contraire, l'aile A donne bien à l'eau un mouvement de bas en haut, mais l'aile B tend à lui imprimer un mouvement inverse. Par conséquent, la réaction est plus forte et, par suite, l'utilisation de l'aile de l'hélice meilleure.

De plus, les deux hélices étant semblables, les rechanges sont plus faciles.

Enfin la suppression de la quille, dans la partie avoisinant les hélices, facilite le mouvement des filets d'eau tendant à combler les vides formés par la rotation des propulseurs.

Quant à l'influence de l'immersion des hélices et de la vitesse sur la rupture du cylindre d'eau actionnée, elle a fait l'objet d'une communication présentée récemment par M. Normand à l'Association technique maritime, où il en a démontré toute l'importance.

Chaudières et Machines. — Les chaudières, du système du Temple, sont au nombre de deux ne formant qu'une seule chaufferie.

Le nombre des tubes de chaque chaudière est de 826,

La surface de grille est de $4 m^2$,

La surface des tubes de $152,50 m^2$, soit pour les deux chaudières une surface de chauffe totale de $305 m^2$.

L'appareil moteur comprend deux machines à triple expansion dont l'orateur présente les photographies.

Ces machines ont été munies de divers appareils accessoires particuliers et étudiées en vue d'atténuer le plus possible les vibrations dues à l'inertie des pièces en mouvement.

Les appareils accessoires sont : pour les chaudières, le filtre d'eau d'alimentation, et le réchauffeur d'alimentation.

Le but du premier appareil est de débarrasser l'eau des impuretés qu'elle renferme et plus spécialement des matières grasses qui proviennent de différentes causes : introduction d'huile dans les cylindres, soit directement, soit simplement par le graissage de la tige du piston, purge d'eau chaude des machines, etc.

Après avoir essayé de diverses matières, telles que les déchets de coton, les tissus, le coke, M. Normand a fixé son choix sur l'éponge.

L'appareil, qui renferme généralement trois lits superposés d'éponge, est placé, soit dans la bâche, soit entre la pompe à air et les pompes alimentaires.

Le réchauffeur d'alimentation fonctionne par surface, entre le refoulement des pompes et la chaudière.

Dans les machines compound des torpilleurs 126 à 129, la vapeur réchauffante est prise à mi-course du grand cylindre par un tiroir spécial.

Actuellement, dans les machines à triple expansion, la vapeur est prise dans la boite à tiroir du grand cylindre, c'est-à-dire que la quantité de vapeur détournée du grand cylindre a fourni les deux tiers de son travail avant de céder à l'alimentation le reste de sa chaleur.

Par suite d'un perfectionnement datant de 1892, l'efficacité des réchauffeurs de ce système a été fortement augmentée et la température de l'eau a pu passer, dans la marche à faible puissance, de 86° à 95°, et dans la marche à toute puissance, de 90° à 116°.

Des essais faits sur une série de torpilleurs paraissent montrer, d'après M. Normand, en prenant comme base la consommation de charbon par mille à une vitesse de 10 à 15 nœuds, que l'application du réchauffeur permettait de réaliser une économie de 20 0/0 environ.

Pour les machines motrices les appareils accessoires particuliers sont: les purgeurs automatiques et les soupapes de sûreté des cylindres.

Chaque machine possède trois purgeurs automatiques ; un pour la petite boite à tiroir, un pour les enveloppes de vapeur, un pour le réchauffeur.

Le premier sépare l'eau de la vapeur venant des chaudières. Il supprime ainsi les causes fréquentes d'avaries dues aux projections d'eau et augmente le coefficient économique de la machine en fournissant au cylindre de la vapeur sans eau d'entrainement.

Le second assure l'efficacité des enveloppes et le troisième celle du surchauffeur.

La disposition du clapet d'écoulement permet au purgeur de fonctionner immédiatement, et juste de la quantité nécessaire.

Enfin, les cylindres sont munis de soupapes de sûreté destinées à permettre de donner à la compression qui se produit à fin de course des pistons, les meilleures valeurs compatibles avec la régularité de rotation et la solidité de la machine. Souvent, en effet, et principalement dans les machines à introduction s'effectuant par un seul tiroir, la compression augmente rapidement avec la détente, pour les faibles introductions, lorsqu'on a cherché à déterminer les recouvrements de façon à supprimer le plus possible l'influence des espaces morts quand on marche à grande introduction. Il en est de même au moment du renversement brusque de marche et certains diagrammes ont, dans ce cas, accusé quelquefois, dans les cylindres, des pressions doubles de celles de la chaudière.

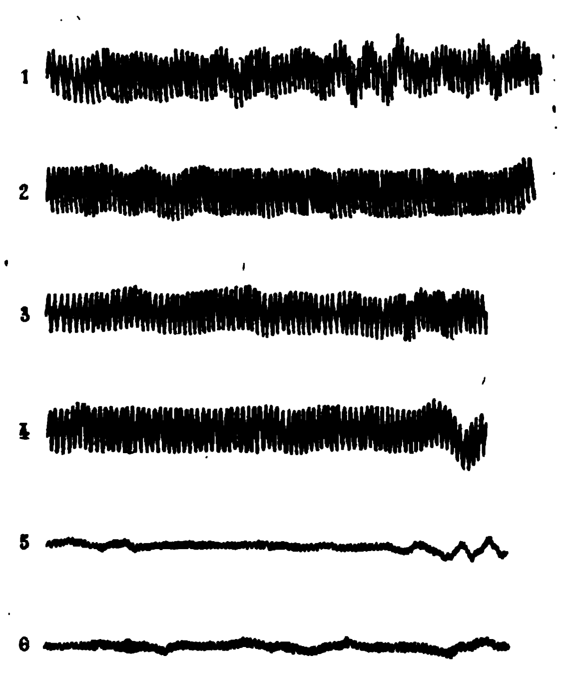
Les soupapes ont pour but de remédier en grande partie à cet inconvénient ; elles évacuent la vapeur dans les boites à tiroir dont la pression les maintient en partie sur leur siège, de telle sorte que les ressorts

peuvent n'avoir qu'une tension initiale très faible, et permettent ainsi une rapidité de fonctionnement très grande, rapidité nécessaire surtout dans les machines des petits torpilleurs. L'application de ce système a, depuis plusieurs années, donné de bons résultats.

Il existe, du reste, d'autres solutions analogues, par exemple, les soupapes avec tiroir Trick combinées par notre collègue M. Mallet et appliquées par lui sur un certain nombre de ses machines locomotives.

M. Normand a spécialement étudié les moteurs en vue de diminuer les vibrations dues à l'inertie des pièces en mouvement, vibrations qui, non seulement fatiguent la coque, mais causent encore l'incertitude dans le tir, le déréglage des torpilles, la fatigue du personnel, etc.

M. de Dax présente quelques diagrammes de vibrations d'un torpilleur qui proviennent d'expériences faites par M. Yarrow, le constructeur anglais bien connu et qui, lui aussi, cherche les moyens d'atténuer ces inconvénients.



Le diagramme n° 1 représente les vibrations d'un torpilleur, en marche libre, dont la machine fonctionne avec propulseur.

Le n° 2 représente les vibrations d'un torpilleur amarré à un point fixe, sans propulseur.

Le n° 3 a été obtenu sur un torpilleur placé dans les mêmes conditions que le premier, mais avec des contrepoids disposés comme à l'ordinaire pour équilibrer les organes mobiles de la machine.

Le n° 4 a été obtenu dans les mêmes conditions que le second, mais avec contrepoids.

Enfin, le n° 5 et le n° 6 représentent les vibrations produites par une machine équilibrée et compensée d'après le système de M. Yarrow.

Il est facile de voir que ces derniers indiquent une amélioration sensible et une grande diminution dans l'amplitude des vibrations.

M. Normand, après avoir longuement étudié cette question et l'avoir soumise au calcul, est arrivé à formuler la règle suivante :

« Avec trois manivelles écartées de 120° les unes des autres ou quatre » manivelles écartées de 90°, et des poids mobiles identiques à tous les » cylindres, la somme des efforts d'inertie, suivant l'axe des cylindres, est » constamment nulle pour toutes les positions angulaires de l'arbre, quel » que soit le rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle. »

Partant de là, les trois pistons de chacune des machines du *Chevalier* ont des poids à peu près identiques ; il faut remarquer que c'est *à peu près*, car pour tenir compte des pompes à air, pompes de cale et alimentaires, actionnées par la tige du moyen piston, on a donné à ce dernier un poids inférieur d'environ 3 *kg* à celui des deux autres.

Mais ce n'est pas tout.

Par suite, en effet, de la position des cylindres, les efforts moteurs se transforment en un couple vertical d'intensité variable, tantôt positif, tantôt négatif.

Le levier de ce couple peut être considéré comme proportionnel à la distance des axes des cylindres extrêmes, et il produit sur la base de fondation des machines des vibrations, atténuées il est vrai, mais qui se transmettent cependant à la coque entière.

Il y a donc intérêt à diminuer le plus possible la distance des axes des cylindres extrêmes, ce qui a été obtenu pour *le Chevalier* en mettant les tiroirs latéralement.

De plus, il faut remarquer que le couple vertical dû au mouvement des pistons peut être équilibré par un couple horizontal de même moment. Pour obtenir ce résultat, les machines ont été rendues invariables dans le plan longitudinal au moyen de diagonales que l'on voit sur la figure ; des pièces spéciales les ont ensuite solidement reliées au pont et aux carlingues, de telle sorte que les efforts dont il s'agit sont supportés, sans aucune fatigue pour le navire, par ces diverses parties.

L'expérience a montré que cette disposition reliant la machine aux carlingues et au pont donnait les meilleurs résultats et le rapport officiel dit textuellement ceci : « Les trépidations sont presque insensibles. Le résultat obtenu par M. Normand est des plus remarquables. »

Armement. — *Le Chevalier* est un torpilleur de haute mer qui, par sa vitesse, échappera facilement à la poursuite des cuirassés et même des grands croiseurs.

Il n'a donc à se défendre que contre ses pareils et un armement défensif léger lui suffit.

Il ne possède, en effet, que deux canons à tir rapide de 37 *mm*.

En revanche, il a, comme armement offensif destiné à lui permettre d'accomplir sa mission destructive contre les grands navires, deux tubes lance-torpille à cuiller, sur affût, placés sur le pont, pour torpilles de 450 *mm*.

Vitesse. — Voici les résultats de l'essai de consommation à 10 nœuds, et de l'essai à grande vitesse.

1° Pour obtenir la vitesse de 10 nœuds, on n'a fait fonctionner qu'une hélice, celle de tribord, avec une seule chaudière, dont la surface de grille avait été réduite à 2,875 m^2.

L'hélice bâbord avait été débrayée, et tournait à environ 117 tours.

La pression à la chaudière était d'environ . .	10 *kg*
Le nombre de tours a été par minute de . . .	149,30
Et la vitesse obtenue de	10,326 nœuds (19 *km*)

La consommation de charbon a été par heure de	78,87 *kg*
par heure et mètre carré de grille	26,739
par mille, avec vitesse réduite à 10 nœuds . .	6,984

Ces chiffres permettent de conclure qu'à la vitesse de 10 nœuds, *le Chevalier* pourrait franchir une distance de 2 400 milles, soit environ 4 450 *km*.

2° L'essai à grande vitesse a donné les résultats suivants, les deux chaudières allumées et les deux machines fonctionnant :

Pression aux chaudières	14,860 *kg*
Nombre de tours par minute	360,66
Vitesse moyenne	27,22 nœuds, soit 50,400 *km*
Puissance probable développée	2 700 à 2 800 *ch*

La consommation de charbon a été :

par heure de	2 440 *kg*
par heure, par mètre carré de grille . . .	305 *kg*
par mille, à 27,22 *nds*	89,64
soit environ par cheval-heure.	0,900 *kg*

Si l'on compare ces chiffres à ceux de l'essai à 10 nœuds, on voit que dans le premier essai à vitesse réduite, la consommation horaire totale a été de 78,87 *kg* ou 6,984 *kg* par mille parcouru. Dans l'essai à grande vitesse elle a été de 2 440 *kg* ou de 78,87 *kg* par mille parcouru.

C'est donc une augmentation de 13 pour 1, alors que la vitesse n'a augmenté que dans un rapport de 2,7 à 1.

Ce point connu, mais intéressant, a été déjà signalé par M. de Dax, en parlant, dans une note précédente, du *Jauréguiberry* et du croiseur américain *Columbia*.

Dans le cours de ce dernier essai on a constaté, ce qui du reste était à prévoir :

1° Que le bâtiment donnait une bande de près de 2°10′ sur bâbord, par suite de la disposition du pas des deux hélices tournant dans le même sens;

2° Que l'hélice bâbord, étant par suite plus immergée, était plus résistante.

Enfin, il est à remarquer que l'on n'a pas atteint aux chaudières la pression prévue de 15 *kg*.

Tout n'était pas ouvert en grand, et les machines semblaient susceptibles de développer plus de force.

Mais on a été arrêté par *le travail excessif imposé aux chauffeurs*, qui

n'auraient pu continuer à conduire leur feu en chargeant, par homme et par heure, 1 220 *kg*, soit plus de 20 *kg* par minute.

C'est là un point important et qui mérite attention. Les difficultés croissantes pour alimenter au charbon les foyers des chaudières des navires à grande vitesse font que, très certainement, on sera amené à employer d'autres modes de chauffage. L'emploi des hydrocarbures, pétroles, huiles lourdes, etc., permettra sans doute de résoudre le problème (1).

En résumé, grâce aux modifications et aux soins apportés dans la construction du *Chevalier*, ce torpilleur a donné des résultats excellents, une vitesse de plus de 27 nœuds, très peu de vibrations, et une consommation de charbon qui n'a rien d'anormal.

En terminant, M. de Dax remercie M. Normand de l'avoir autorisé à puiser dans les documents que ce dernier possède les indications qu'il vient de donner, et constate, une fois de plus, que notre Collègue a trouvé, pour des cas difficiles, des solutions élégantes et pratiques ; la Société s'associera certainement aux éloges que contient le rapport officiel des essais du torpilleur de haute mer *le Chevalier*.

M. LE PRÉSIDENT, remerciant M. de Dax, dit que la Société apprend avec un vif plaisir le succès du nouveau bâtiment qui vient de renforcer la marine française. — Elle est d'autant plus sensible à ce succès que c'est à un membre de la Société qu'il est dû.

L'ordre du jour appelle la communication de M. Baudon de Mony, pour sa communication sur les *Causes et explications des courants maritimes et aériens; leur reproduction artificielle, par l'appareil d'étude l'Anémogène, de Mgr Rougerie.*

Cette communication, qui sera reproduite *in extenso* au bulletin, est accompagnée d'un grand nombre d'expériences, que les assistants ont pu tour à tour répéter après la séance.

M. le PRÉSIDENT remercie, au nom de la Société, notre collègue M. Baudon de Mony, qui a fait avec une clarté parfaite un exposé intéressant de la savante théorie de Mgr Rougerie.

Cette théorie a été présentée au Congrès de Pau, en 1892, et, dernièrement, au Bureau des Longitudes et au Dépôt des cartes de la Marine française. La Société voudra s'associer à ces corps savants, en adressant à Mgr Rougerie ses très vives félicitations. *(Applaudissements.)*

En lui adressant ses remerciements, M. LE PRÉSIDENT ne peut que le féliciter du choix qu'il a fait de notre sympathique collègue, M. Baudon de Mony, pour exposer ses théories.

(1) Depuis plusieurs années, des tentatives, couronnées de succès, ont eu lieu dans divers pays, en Amérique, en Angleterre et surtout en Russie, aussi bien sur les bateaux naviguant, par exemple, dans la Caspienne et sur le Volga, que sur les locomotives. En ce moment, la Compagnie anglaise du « Great Eastern Railway » fait des essais de chauffage au pétrole, par le système Holden, sur 30 locomotives.

En France, des essais ont été faits par des particuliers et se continuent encore. Citons, notamment, les résultats obtenus par notre collègue, M. H. Deutsch, sur son yacht l'*Iris*, au moyen de l'appareil Leconte de l'Isle.

Nous pensons pouvoir, dans quelque temps, donner des indications plus complètes sur l'emploi, pour le chauffage des chaudières, des huiles lourdes, emploi qui se généraliserait rapidement si les droits énormes dont sont frappés, en France, les combustibles de cette catégorie n'étaient, jusqu'à présent, un obstacle sérieux à leur utilisation économique.

Mgr Rougerie remercie, à son tour, M. le Président des paroles qu'il vient de prononcer, et invite les membres de la Société à venir répéter eux-mêmes les expériences qui ont été faites devant eux ; ils verront ainsi comment des efforts purement mécaniques peuvent produire les effets qui, jusqu'ici, ont été attribués à l'action solaire.

Il est donné lecture, en première présentation, des demandes d'admission de MM. Ch. Clausel dé Coussergues, de Faramond de Lafajole, Harlé, Tourneur, D. Vega et H. Zschokke, comme membres sociétaires.

MM. A. de Brochocki, P.-A. Gandillon et A.-P. de Laville, sont reçus comme membres sociétaires.

La séance est levée à 10 h. 45 m.

LE

CANADIAN PACIFIC RAILWAY (1)

PAR

MM. L. PÉRISSÉ et A.-V. ROY

Le réseau du *Canadian Pacific Railway* constitue une des plus importantes lignes transcontinentales américaines; c'est la plus courte de celles-ci, car c'est la plus septentrionale et ses trains circulent directement d'un océan à l'autre.

Dès 1871, le gouvernement du Canada reconnut qu'il fallait créer une ligne pénétrant dans l'intérieur du pays et une charte fut même accordée à une Compagnie pour la construction de la ligne, mais sans résultats.

Peu après, on sentit de nouveau le besoin de grouper les provinces de ces immenses pays, en les mettant en communication les unes avec les autres. A cette époque, Winnipeg n'était qu'un poste de la Compagnie de la baie d'Hudson, et le commerce des

(1) LISTE DES DESSINS JOINTS AU MÉMOIRE
(Planches 103 et 104).

pelleteries se faisait vers les États-Unis, par la vallée de la rivière Rouge. Le Gouvernement résolut d'entreprendre la construction lui-même, mais en deux ans et demi, on ne parvint à tracer et à établir que 713 milles de voies répartis en plusieurs sections. Ces premiers travaux montèrent déjà à 35 millions de dollars (180 000 000 de francs).

La Compagnie du Canadian Pacific Railway fut établie par une Charte de 1880. Le Gouvernement lui donnait un subside de 25 millions de dollars, lui accordait 25 millions d'acres de terrains de chaque côté de la ligne, et lui remettait les parties de la ligne déjà construites; de plus, il garantissait un revenu de 3 0/0 du capital jusqu'en août 1893. Notons en passant que la Société Générale de Paris et MM. Kohn, Reinach et Cie souscrivaient 1/6 du capital, soit environ 4 millions de francs.

La Compagnie s'engageait à terminer la ligne en dix ans, c'est-à-dire pour le 1er mai 1891.

Grâce à l'énergie indomptable des directeurs, au travail énorme des ingénieurs et des arpenteurs, cette gigantesque entreprise fut menée si rapidement à bonne fin, qu'en novembre 1885, plus de cinq ans avant le délai fixé, les trains circulaient entre le lac Supérieur et l'océan Pacifique. En juillet 1887, Montréal était relié à son tour directement avec Vancouver.

Si maintenant on jette les yeux sur la carte du réseau (*fig. 1*), on voit que de Montréal rayonnent quatre lignes principales: deux à l'est, deux à l'ouest.

Des deux premières, l'une descend la vallée du Saint-Laurent, sur la rive gauche, jusqu'à Québec et a son importance surtout en hiver, où la navigation du fleuve est suspendue; la ligne se prolonge jusqu'à Sainte-Anne de Beaupré, le lac Saint-Jean et la vallée du Saguenay, desservant ainsi les lieux de pèlerinage, de villégiature et de colonisation du golfe du Saint-Laurent.

L'autre ligne passant par Sherbrooke, traverse l'État du Maine (Etats-Unis) pour rentrer au Canada par le Nouveau-Brunswick, Saint-Jean et Halifax. Pour la construction de cette ligne le Gouvernement accorda un subside de $ 186 000 annuellement pendant vingt ans. La ligne fut construite par la « North Western Railway Co » qui fut bientôt englobée dans la grande Compagnie, et la ligne fut ouverte en décembre 1888

Les lignes qui partent à l'ouest de Montréal entrent en plein cœur du pays. L'une passe par Toronto, descend à travers la province d'Ontario jusqu'à la rivière de Detroit; là, de grands bacs

à vapeur prennent les « cars » pour les déposer sur les voies américaines, en attendant que, comme le Grand Trunck, l'autre Compagnie canadienne, on construise un tunnel sous la rivière. Un embranchement se détache de Toronto pour aboutir à Owen-Sound, sur la baie Gorgienne d'où part la ligne de Steamboats du lac Supérieur.

Enfin, la quatrième ligne, et la plus importante de beaucoup, est la **Grande Ligne Intèrcontinentale**. Celle-ci remonte la vallée de la rivière Ottowa, qu'elle traverse en face de la capitale; de là, malgré un léger crochet au sud jusqu'à Carleton-Junction, où vient aboutir un embranchement de Toronto, elle continue à suivre l'Ottawa, qu'elle ne quitte que pour passer dans le bassin des grands Lacs.

A Sudbury, la célèbre région du nickel et du cuivre, elle laisse à gauche l'embranchement du Sault-Sainte-Marie, puis, traversant une région inculte,. elle longe le bord septentrional du lac Supérieur pour arriver enfin à Fort-William. Ce port, créé par la Compagnie à l'embouchure de la rivière Kaministika, est plus sûr que son voisin Port-Arthur; c'est là qu'aboutit la ligne de bateaux qui part d'Owen-Sound, et trois grands élévateurs y servent au chargement du blé qu'on envoie au Canada et aux États-Unis.

A partir de Fort-William, la ligne traverse pendant 700 kilomètres une région inculte et sauvage, à peine explorée, vaste chaos de rochers granitiques, de lacs et de maigres forêts où les Indiens seuls savent trouver leur existence. Cependant, Rat Portage, sur le Lac des Bois, est célèbre par ses scieries. Kewatin, à quelques milles plus loin, possède un important moulin actionné par une chute d'eau. Cent cinquante milles plus loin, la ligne tourne au sud pour arriver à Winnipeg « la reine des prairies ».

Autour de cette ville rayonnent de nombreux embranchements, dont deux vont au-sud se raccorder aux lignes américaines, — sans compter une troisième ligne concurrente qui n'appartient pas au Canadian Pacific Railway. — D'autres embranchements pénètrent dans le district de Deloraine et dans celui de Souris, où, au commerce agricole, se joint l'exploitation des houilles de surface. Au nord, deux lignes, celle de West Selkirk et Stonewal, sont destinées à être prolongées à travers les régions des lacs Winnipeg et Manitoba, jusqu'à la baie d'Hudson.

En quittant Winnipeg, la ligne traverse la prairie, plaine fertile, comme le prouvent les nombreux élévateurs à blé que l'on

rencontre à chaque station de quelque importance ; là, peu d'ouvrages d'art. La ligne a coûté peu d'établissement et est d'un excellent rendement. A Portage-la-Prairie et à Brandon, se détachent les lignes de Manitoba et Nord West Railway qui remontent la rivière Assiniboine.

A Régina, la voie laisse au nord la ligne de Prince-Albert et Battleford sur la vallée de la Saskatchewan. Près de Medicine Hat, une ligne à voie étroite de 100 milles de longueur amène le charbon des importantes mines de Lethbridge. A Calgary, déjà situé à 1 200 mètres au-dessus du niveau de la mer, se détachent parallèlement aux Montagnes-Rocheuses, deux lignes dont l'une monte au nord sur Edmonton où commence la navigation sur la Saskatchewan du nord, — nombreux gisements de charbon. — L'autre descend au sud jusqu'à Fort Mac Leod, où se trouvent de très importants « ranges » d'élevage.

Enfin la voie commence à gravir les premières pentes des Montagnes-Rocheuses. A Banff, le Canadian Pacific Railway a bâti un superbe hôtel au milieu de Park National Canadien, au pied du Castle Mountain, point culminant des Montagnes-Rocheuses au Canada ; à la station du Mont-Stephen, — 1765 mètres au-dessus du niveau de la mer, — la voie passe la ligne de partage des eaux pour descendre par la passe du « Cheval-qui-Rue » jusqu'à la rivière Colombia, sur le bord de laquelle est bâti Donald, le terminus de la Werstern division du chemin de fer. La ligne franchit alors les monts Selkirks par la passe qui porte le nom du Major Roger, qui l'a découverte en 1883, et traverse une seconde fois la rivière Colombia qui coule vers le sud et est utilisée à relier Revelstoke avec les lignes du lac Kootenai et de Spokane Falls aux États-Unis.

Après avoir traversé la passe de l'Aigle, la voie descend sur le versant proprement dit de l'océan Pacifique, elle suit le bord du lac Shuswap, d'où part un embranchement sur Vernon dans le district argentifère d'Otanagan. Par la vallée de la rivière Thompson et celle de Fraser, elle descend jusqu'à l'océan Pacifique, tantôt à travers d'étroits cañons, tantôt dans les élargissements de vallées où la culture des fruits et des légumes, aussi bien que l'exploitation forestière, se font à bon marché avec la main-d'œuvre chinoise.

Mission Junction, où viennent aboutir les lignes américaines de l'État de Washington, Port Moddy où la ligne s'arrêtait en 1885, enfin Vancouver, 13 milles plus loin, sur le bord d'un profond « inlet » qui forme un port naturel splendide. Cette ville,

qui n'a pas encore dix ans d'existence, compte aujourd'hui 20 000 habitants, elle possède d'importantes scieries, et est le port d'attache de la ligne du Canadian Pacific Railway pour la Chine.

Victoria, la capitale de la Colombie anglaise, est située dans l'île Vancouver, à environ 90 milles marins du terminus de la voie; à quelque distance de là, Esquimalt est un port en eau profonde, où la marine anglaise a créé sa station navale du Pacifique. Une ligne de chemin de fer a été construite dans l'île jusqu'à Nanaïmo, le centre du district minier, d'où l'on tire un excellent charbon dont les États-Unis eux-mêmes viennent s'approvisionner pour leur marine militaire, ainsi que pour leur consommation privée de San-Francisco et de toute la côte.

Nous avons laissé de côté les lignes dites « en connexion » qui, sous un autre nom, sont les sœurs jumelles de la grande ligne, dont elles ont les mêmes directeurs.

L'embranchement du Soo — comme on écrit en abrégé pour Sault-Sainte-Marie — suit le rivage du lac Huron, où l'on trouve des minerais précieux, des bois de construction et aussi de bonnes terres de colonisation. La ligne traverse la rivière Sainte-Marie sur un grand pont métallique, et entre aux Etats-Unis dans deux directions. Les noms de Duluth, South Shore Railway et de Saint-Paul, Minneapolis et Sault-Sainte-Marie Railway, suffisent pour indiquer les contrées traversées. De Minneapolis, la ligne se prolonge vers le nord-ouest et doit prochainement, en traversant le North Dacota, rejoindre les lignes du Manitoba et arriver près de Régina.

Quand on jette les yeux sur la carte du Canada, on voit que c'est le Canadian Pacific Railway qui a amené la vie et la prospérité dans les régions fertiles du Canada central, qui étaient restées si longtemps incultes. Comme le montrent les quelques chiffres suivants, le trafic a augmenté d'année en année; les recettes et les dépenses annuelles ont été les suivantes :

	1887	1889	1891	1887	1889	1891
	$	$	$	f	f	f
Recettes. . .	11 606 400	15 369 140	20 241 000	60 000 000	80 000 000	105 000 000
Dépenses. . .	8 102 294	9 241 300	12 231 436	42 000 000	48 000 000	64 000 000

Voici comment s'établissait le premier janvier 1892 le bilan de la Compagnie :

ACTIF	DOLLARS	FRANCS	PASSIF	DOLLARS	FRANCS
Prix de la Ligne. .	159 448 722	825 944 380	Capital social. . .	65 000 000	336 700 000
Matériel roulant. .	13 887 211	71 935 753	Oblig. sur hypothèque	47 956 686	246 415 633
Steamers	3 950 539	20 463 792	Dette 4 %. . . .	19 770 492	102 411 149
Ateliers.	1 228 923	6 365 821	Obligations foncières	18 426 001	95 446 685
Avance sur terrains.	1 415 899	7 334 357	Subsides du Gouvern.	25 348 661	131 306 064
Fonds de garantie .	3 712 532	19 230 916	Propriétés foncières.	24 907 442	129 020 550
Divers	16 882 522	97 451 464	Divers	5 114 845	26 494 897
En caisse	6 027 879	31 224 413			
TOTAL. . .	206 554 127	1 069 950 376	TOTAL. . .	206 554 127	1 069 950 378

Profil de la ligne. — Nous donnons le profil général *(fig. 2)* de la grande ligne entre Montréal et Vancouver, et l'on peut se rendre compte, en consultant ce dessin, de l'allure générale du passage des Montagnes-Rocheuses. Nous donnons de plus le profil détaillé *(fig. 3)* d'une partie de la ligne (la grande ligne à son départ de Montréal) pour montrer la façon dont sont établis ces profils.

Comme complément au profil de la ligne, nous donnons, sous la forme d'un tableau, les principaux renseignements sur les points desservis par le Canadian Pacific Railway (p. 416).

La ligne principale transcontinentale d'Halifax à Vancouver a donc une longueur totale de 3 660 milles, c'est-à-dire 5 860 *km*.

Voici enfin comment se décompose la longueur des diverses lignes du Canadian Pacific Railway :

	Milles	Kilomètres
	—	—
Ligne principale Montréal-Vancouver. .	2 904,6	4 647
Eastern Division, — Québec, etc. . . .	535,3	856
Embranchements du Haut-Canada. . .	654,3	1 047
Embranchements du Pacifique. . . .	19,5	33
Division d'Ontario	1 728,9	2 766
Lignes de l'Alberta et du Saskatchewan	550,4	881
Lignes diverses.	286,0	458
TOTAL	6 679,0	10 696

Si on ajoute à cela les lignes des États-Unis sur lesquelles l'influence de la Compagnie se fait sentir, à savoir : Détroit à Chicago; Sault-Sainte-Marie à Duluth et Saint-Paul Minneapolis, en tout

VILLES	MILLES	KILOMÈTRES	ALTITUDE EN MÈTRES	POPULATION
Montréal	»	»	25	250 000
Trois-Rivières	95	155	19	10 000
Québec	172	275	8	70 000
Sherbrooke	108	172	50	12 000
Frédéricton	437	699	30	10 000
Saint-John	481	769	0	45 000
Halifax	756	1 210	0	40 000
Toronto	344	550	123	190 000
Owen Sound	466	745	195	8 000
Ottawa	120	192	40	48 000
Carleton	148	237	139	5 000
Mattawa	318	509	189	1 800
North Bay	364	582	201	1 800
Sudbury	443	709	284	1 700
Port-Arthur	993	1 589	227	3 500
Fort-William	998	1 597	227	2 800
Rat-Portage	1 291	2 066	364	2 000
Winnipeg	1 424	2 278	233	29 000
Portage-la-Prairie	1 480	2 368	270	4 200
Brandon	1 557	2 391	383	5 400
Broadview	1 688	2 700	650	600
Qu'Appelle	1 748	2 797	685	950
Regina	1 781	2 849	625	2 200
Moosejaw	1 822	2 915	575	600
Swift-Current	1 935	3 096	800	300
Medicine-Hat	2 084	3 334	716	1 000
Calgary	2 264	3 622	1 127	4 500
Cochrane	2 287	3 659	1 195	—
The Gap	2 326	3 722	1 400	—
Canmore	2 331	3 730	1 410	200
Banff	2 346	3 754	1 500	Hôtel
Stephen	2 387	3 789	1 765	Hôtel
Field	2 397	3 835	1 350	Hôtel
Golden	2 430	3 888	850	300
Donald	2 448	3 917	845	200
Passe-Roger	2 479	3 966	1 425	—
Glacier	2 483	3 973	1 274	Hôtel
Revelstoke	2 526	4 042	384	2 000
Kamloops	2 654	4 246	387	500
North-Bend	2 777	4 443	142	Hôtel
Yale	2 803	4 485	70	1 200
Mission Junction	2 863	4 580	19	200
N. Westminster	2 888	4 611	6	8 000
Port-Moody	2 893	4 629	6	—
Vancouver	2 904	4 647	3	20 000
Victoria	2 990	4 784	0	20 000

environ 1 100 milles, on arrive au total de 8 000 milles (12 800 *km.*)

Après avoir ainsi indiqué à grands traits les origines du Canadian Pacific, son réseau et l'importance de cette ligne, nous entrerons plus avant dans la question; c'est la façon dont il a été construit, dont il est exploité et enfin ses services annexes que nous allons maintenant essayer de vous faire connaître.

Pour cela, nous avons divisé l'étude qu'on va lire en six chapitres principaux :

1° Construction et ouvrages d'art comprenant l'établissement de la voie, la construction des ponts, des stations, etc.

2° Divisions administratives — Personnel — Trafic.

3° Locomotives et charrues à neige.

4° Wagons.

5° Colonisation et Hôtels.

6° Services annexes : Télégraphes, Express, Bateaux, etc.

CHAPITRE PREMIER

Construction et Ouvrages d'art.

Les services techniques sont dirigés à Montréal, par l'Ingénieur en chef, qui centralise tout ce qui a rapport à l'établissement des ouvrages nouveaux : arpentages, ponts en métal ou en maçonnerie, construction des hôtels, des gares, des élévateurs, etc., etc. De plus, dans chaque division, un Ingénieur est plus spécialement chargé de l'inspection, de l'entretien et de la réparation des ouvrages d'art de sa division.

En général, la haute direction des chemins de fer américains a-t-elle bien compris la nécessité de s'entourer d'hommes sachant manier la science pour la réalisation d'œuvres à la fois solides et bon marché? Nous n'osons pas l'affirmer. Il n'en est pas de même au Canadian Pacific et le temps n'est plus où l'on considérait les Ingénieurs comme un « mal nécessaire » suivant la jolie expression d'un des anciens directeurs.

La voie.

Le Canadian Pacific Railway a été construit à la manière des chemins de fer américains, dont il est un des types les plus parfaits.

Plus que partout ailleurs peut-être, on a cherché le tracé le plus économique de construction, en même temps que le plus rapide d'établissement, comme nous l'avons déjà vu plus haut.

Il faut d'abord bien se pénétrer des différences constitutionnelles entre les chemins de fer en Amérique et nos lignes françaises. Ces dernières sont créées pour desservir des agglomérations plus ou moins considérables et plus ou moins fertiles, mais dont le rendement est parfaitement connu à l'avance. En Amérique, au contraire, il ne s'agit plus de faciliter des transports qui existent déjà par des routes ou des canaux, il s'agit de *créer un trafic* qui n'existe pas du tout. La voie s'avance dans des pays neufs, à peine explorés; elle y amène des pionniers et des outils, elle en remporte les produits du sol dès la première année.

Il est donc nécessaire de construire vite et économiquement; pour cela on évitera, autant que possible, les ouvrages d'art, suivant les vallées malgré leurs détours, grâce à la flexibilité du matériel à boggies. Le prix de revient de la ligne principale du Canadian Pacific Railway a été, malgré cela, de 166 000 *f* le kilomètre, à cause des grandes difficultés qu'on a éprouvées au lac Supérieur et aussi dans les Montagnes-Rocheuses; quant au prix moyen sur l'ensemble des lignes de la Compagnie il a été de 123 000 *f* le kilomètre.

Actuellement, maintenant que le trafic du Manitoba commence à s'établir d'une façon définitive, les Ingénieurs rectifient peu à peu le tracé primitif, améliorant la voie par des travaux d'art, de façon à permettre le passage de trains plus pesants et plus rapides.

Dès maintenant on prévoit l'établissement d'une seconde voie; quand le mouvement commercial se sera encore accentué, on pourra créer, dans les parties les plus chargées de la ligne, une autre double voie à côté de la première. — comme cela existe en maints endroits aux États-Unis; — cette deuxième voie sera construite plus sévèrement, avec des rails plus lourds et des traverses meilleures, un ballast plus profond; elle sera plus particulièrement réservée aux trains de voyageurs, tandis que l'ancienne voie servira aux trains de marchandises.

Dans la construction de la voie elle-même, on emploie des moyens inconnus en Europe, par exemple dans l'établissement des remblais; comme il arrive que l'on manque de déblais, puisqu'on évite autant que possible les tranchées et les tunnels, on traversera tout d'abord les dépressions de terrain au moyen de chevalets en bois ou « tresstles ».

Nous dirons quelques mots du « standard tresstle » (*fig. 4*), mais auparavant expliquons ce mot *standard*, qui reviendra souvent au cours de cette étude. — Un « ouvrage » standard est un ouvrage composé de telle sorte qu'il constitue un type applicable dans le plus grand nombre de cas : c'est ainsi que l'on a une travée standard de 100 pieds, un ponceau standard de 20 ou 30 pieds, ouvrages dont tous les calculs, les dessins ou les modèles sont prêts et qu'on peut commander sans retard à un atelier ou à un entrepreneur.

Donc, le chevalet standard a les dimensions suivantes : il est composé d'étages ayant environ 25 pieds de haut; la plate-forme supérieure, formée par les traverses de la voie, a 14 pieds (4,75 *m*) de large. Au centre, deux pièces verticales de 12 × 12 (305 *mm* × 305 *mm*) sont placées directement sous les rails, tandis que les pièces inclinées de 80° avec l'horizontale sont là pour maintenir le système. L'espace entre deux chevalets est de 15 pieds. Les bois employés sont exclusivement des pièces de 12″ × 12″ (305 × 305); 12″ × 3″ (305 × 76); 10″ × 3″ (254 × 76). On comprend qu'un tel chevalet peut avoir la hauteur qu'on désire, la base allant en augmentant en raison de la hauteur.

Nous avons réuni, dans le tableau suivant les chiffres relatifs à quelques hauteurs de chevalets; ces chiffres comprennent, pour le chevalet et la travée de 15 pieds, la quantité totale des bois exigés; le poids du fer, boulons, etc., le poids de la fonte et le prix par pied courant :

HAUTEUR DU CHEVALET	QUANTITÉ DE BOIS	FER	FONTE	PRIX PAR PIED COURANT
20 pieds	1 696 FBM (*)	73 lbs	25 lbs	$ 4,30
30 —	2 934 —	95 —	30 —	7,28
40 —	4 138 —	111 —	40 —	10,18
50 —	5 898 —	175 —	64 —	13,42
60 —	7 538 —	226 —	79 —	18,65
70 —	9 266 —	286 —	97 —	23,00

(*) FBM « Feet Board Mesure » Pieds, mesure de planche. C'est un solide ayant 1 pied carré de base et 1 pouce d'épaisseur
1 000 FBM = 2,36 m^3 — 1 m^3 = 424 FBM

Il ressort du détail des prix ci-dessus, que les prix sont les suivants :

Bois : $ 35 les 1 000 FBM (soit 77 *f* le mètre cube).

Fer : $ 0,06 la livre (soit 0,69 *f* le kilogr.)
Fonte : $ 0,03 la livre (soit 0,35 *f* le kilogr.)

Ces ponts de chevalets sont à proprement parler des viaducs en bois; quelques-uns sont de grande hauteur et de grande largeur; un grand nombre sont en courbe, surtout ceux qu'on rencontre sur les bords du lac Supérieur.

Un des ponts de chevalets les plus connus est celui de Mountain Creek, qui a une longueur totale de 538 *m* avec une pente de 2,2 0/0. Il se compose de 20 chevalets en bois répartis sur les deux côtés de la vallée, avec un pont en bois central de 50 *m*; chaque chevalet a une hauteur moyenne de 42 *m*, et ils sont espacés l'un de l'autre de 10 *m*.

La répartition du matériel d'une travée de 10 *m* se fait ainsi :

Bois : 7 373 FBM	Prix :	$ 258,00	1 342 *f*
Métal : 1 359 livres.	Prix :	68,00	354
	Total. . .	$ 326,00	1 696 *f*

Le bois qui sert à la construction des chevalets se trouve souvent sur les bords mêmes de la voie, et la construction en est donc très économique. Le bois débité revient, en effet, à pied d'œuvre à environ $ 8,00 les 1 000 FBM, soit 18 *f* le mètre cube.

Quand, par suite d'un long service, l'ouvrage donne des signes de vétusté, on se décide à faire un remblai à la place des chevalets. Pour cela on ira, chercher la terre que fourniront les ouvrages d'art de rectification, — tunnels ou tranchées, — ces déblais sont chargés sur des trains composés de wagons plate-forme, reliés les uns aux autres par de petits ponts mobiles. Un fort madrier règne d'un bout à l'autre du train suivant l'axe des wagons et à cheval sur lui, et placé sur le wagon de queue, une charrue à double soc reliée par un câble à la machine. On arrête le train sur les chevalets, on cale les roues des wagons, on décroche la machine et celle-ci s'avançant lentement, entraîne la charrue, qui déverse, en quelques minutes, toute la terre de chaque côté de la voie. Au bout de quelques semaines de ces opérations répétées, les chevalets sont complètement recouverts et pourrissent peu à peu dans le remblai qui les recouvre. On a donc ainsi réalisé deux conditions essentielles en Amérique : rapidité d'exécution et économie de main-d'œuvre.

La voie est analogue en Amérique à notre voie normale française, elle a 1,435 *m* entre les bords intérieurs des rails. L'entrevoie est en général de 3,95 *m*, mais la ligne transcontinentale est en voie unique, seulement les terrains ont été réservés pour permettre facilement plus tard l'établissement de quatre voies.

Traverses. — Grâce à l'abondance et au bon marché des bois, on peut employer des traverses très rapprochées; on y a d'autant plus intérêt que le bon ballast est souvent rare, aussi on se contente souvent d'un ballast très médiocre, en rapprochant les traverses à 0,50 *m* et même 0,40 *m* d'axe à axe. Le bois varie suivant le pays qu'on traverse; dans le bas Canada, elles sont faites en chêne, en tamarack *(Tsuga Canadiensis)*, ou en hemlock *(Larix Americana)*; dans le Far-West elles sont le plus souvent en cèdre. La traverse est en général un arbre de 8 pouces de diamètre simplement dégrossi sur deux faces, soit par un trait de scie, soit à la hache, lorsqu'on est loin des scieries; l'épaisseur de la traverse est alors de 6 à 7 pouces soit 16 *cm*. Le prix de revient varie naturellement beaucoup; dans les pays de rochers où il faudrait casser la pierre pour faire du ballast, on trouve du bois en abondance et le prix de la traverse revient de 6 à 15 cents environ à pied d'œuvre (soit 0,31 *f* à 0,78 *f*); dans la prairie, où le bois manque, mais où le ballast est excellent, la traverse revient à 1,30 *f* environ; aussi on en emploie moins, elles sont en général écartées de 2'-3", soit 0,75 *m*.

Une grave question pour les chemins de fer, au Canada, réside dans l'entretien de la voie; celle-ci, sous l'influence des gelées et des dégels, subit des transformations des plus considérables; les rails, sous l'influence de températures extrêmes (de — 45° à + 35° centigrades, c'est-à-dire 80 degrés centigrades de différence) s'allongent et se contractent énormément, et l'on est obligé de rajouter en hiver de véritables petits bouts de rails entre certains joints; de plus, des soulèvements et des affaissements de la voie se reproduisent, et il est nécessaire de poser des coins en bois sous le rail et des cales sur le côté, en attendant que la terre soit devenue assez molle pour pouvoir changer la position des traverses.

Les traverses sont simplement posées dans le ballast et ne sont pas en général recouvertes par lui; comme elles ne subissent aucune préparation chimique, leur durée n'est pas très longue et on compte qu'il faut en moyenne les changer tous les quatre ans.

En ce qui concerne la voie proprement dite, nous donnons le profil détaillé tel qu'il est établi par les Ingénieurs pour la surveillance et l'entretien de la voie. Notre dessin *(fig. 3)* donne le profil de la grande ligne intercontinentale à son départ de Montréal; remarquons en passant combien le nom de ces stations voisines de la capitale ont un bon aspect de vieux français.

Le dessin indique la classe des stations au moyen de drapeaux de forme différente pour chacune; il indique les signaux et les réservoirs d'eau. Puis le profil a été établi en prenant la cote 150 pieds (45,75 *m*) au-dessus du niveau de la mer, qui est le niveau minima en été du fleuve Saint-Laurent. Il donne les pentes et rampes en pieds par mille, le numéro des sections de la voie, les poteaux de distance de 5 en 5 milles, les courbes leur longueur et leur degré, enfin le nom de la paroisse et du comté traversé par la ligne.

Chaque station porte la distance qui la sépare de Montréal, d'un côté, et de l'extrémité opposée de la section de la ligne, de l'autre.

Les pentes ne dépassent généralement pas 25 *mm* par mètre. Cependant la rampe de la passe du Cheval-qui-Rue atteint 4,37 *mm* par mètre; on essaiera au printemps prochain de remplacer les locomotivesà vapeur par des machines électriques, de nombreuses chutes d'eau assurant toute la force motrice nécessaire.

Quant aux courbes, elles sont nombreuses, puisqu'elles représentent environ 25 0/0 de la longueur totale de la ligne. A ce sujet, rappelons qu'aux États-Unis on désigne une courbe non par son rayon, mais par la mesure de l'angle correspondant à une corde de 100 pieds.

Voici, du reste, un tableau comparatif de courbes en degrés et de courbes en rayon par mètre :

Courbe de	1°	1 747*m*	de rayon.
—	2°	873	—
—	3°	582	—
—	4°	437	—
—	5°	349	—
—	6°	291	—
—	7°	249	—
—	8°	218	—
—	9°	194	—
—	10°	175	—

Généralement, les courbes maxima sont de 8°, mais éventuellement on va jusqu'à 10° et même 11°; temporairement on a même été jusqu'à 23°. Le rail extérieur est surélevé d'un demi-pouce (12 *mm*) par degré pour les vitesses ordinaires. Dans la ligne, entre Montréal et Halifax par le Maine, où l'on obtient des vitesses assez fortes, on va souvent jusqu'à une surélévation d'un pouçe par degré (25,4 *mm*).

La surélévation est complète au commencement de la courbe; on y arrive progressivement en élevant d'un demi-pouce par longueur de rail, soit un pouce par 60 pieds; il arrive parfois qu'on surélève le rail extérieur de moitié et qu'on abaisse le rail intérieur d'autant.

Dans les cas de moindres vitesses, on diminue beaucoup la surélévation; au pont de Stony Creek, par exemple, la voie fait une courbe de 11° avec une pente de 2,10 0/0, la surélévation totale n'est même pas de trois pouces, car la vitesse est limitée à 18 milles à l'heure (à la descente).

Pour terminer cette question de surélévation du rail dans les courbes, nous donnons la formule généralement employée en Amérique pour ce calcul :

$$S = \frac{V^2 \times G}{R \times 32,2}$$

V, vitesse en pieds par seconde;
G, jeauge en pouces;
R, rayon de la courbe en pieds;
S, surélévation en pouces.

Rails. — Les rails sont du type Vignole en acier de 30 pieds de long (9,15 *m*) et pèsent 56,60 et 72 livres par yard (28 à 36 *kg* le mètre) (*fig. 5*).

Les éclisses sont en fer, de deux sortes : angulaires, pesant 35 livres la paire; leur longueur est de 24 pouces; droites, pesant 20 livres la paire et ayant 20 pouces de long.

Les joints sont, soit suspendus, soit sur traverses, mais, en général, les joints de chaque rail ne coïncident pas l'un avec l'autre. Du reste, tous ces détails varient beaucoup suivant les parties de la ligne.

Les expériences faites il y a deux ans ont donné les résultats suivants :

	RAIL DE 56 LIVRES	ÉCLISSES PAR PAIRE	RAPPORT DU RAIL A L'ÉCLISSE
Section	3 360 *mm*²	2 919 *mm*²	87 °/.
Rayon de giration. . . .	39,8 *mm*	21,8 *mm*	54 °/.
Moment d'inertie	12,87	3,33	26 °/.
Limite d'élasticité (charge au centre)	30 420 *kg*	9 950 *kg*	33 °/.

Les qualités du métal ayant été reconnues insuffisantes pour le trafic actuel, le Canadian Pacific Railway a décidé de remplacer les rails de 56 livres et de 60 livres par des rails de 72 livres qui sont fabriqués à Joliet, près Chicago. On a déjà opéré la substitution sur 218 milles de voies.

Clôtures. — Les Compagnies de chemins de fer ne clôturent pas en général la voie sur leur parcours, mais lorsque la ligne coupe un chemin, un poteau avec l'inscription « traverse du chemin de fer — Railway Crossing » indique qu'il faut faire attention. Dans la traversée des villes, outre le poteau indicateur, on trouve une barrière, simple barre en bois pivotant à une de ses extrémités. Un système de barres et engrenages fait mouvoir en même temps les barrières de chaque côté de la voie et permet ainsi le passage des voitures. Dans la banlieue des villes, les voies sont en général clôturées d'une façon continue au moyen de ronces artificielles avec portes en bois, très rustiques, pour le passage des cultivateurs et de leurs bestiaux.

Les locomotives sont munies à l'avant d'un soc en bois ou en fer appelé « pilote » ou « chasse-vache », destiné à écarter les bestiaux qui pourraient s'égarer sur les voies non clôturées. On comprend que les Compagnies préfèrent souvent faire la dépense d'une clôture, dont le prix dépasse rarement 0,25 *f* le mètre courant, que de tuer des bestiaux pour lesquels elle doit une indemnité au propriétaire.

Une autre protection contre les bestiaux doit s'exercer aux passages à niveau ; rien n'empêche, en effet, de s'aventurer sur la voie au lieu de la traverser, et, une fois un troupeau engagé entre les clôtures, il est fort difficile de lui faire rebrousser chemin.

Pour remédier à cet inconvénient, on dispose de chaque côté du passage à niveau des « cattle guards ». Il y a un grand nombre de systèmes : l'un consiste à pratiquer une excavation de 1,50 *m* de profondeur sur 2 *m* de largeur ; elle occupe toute la distance entre les clôtures ; elle est formée de madriers en bois soutenant les terres et au-dessus d'elle passent les rails sur des longrines. Un autre système consiste à disposer entre les rails des lames de fer ou des pointes sur lesquelles les bestiaux ne peuvent s'engager. Du reste, il existe en Amérique un grand nombre de dispositions patentées, qui sont plus ou moins employées par les diverses Compagnies de chemins de fer.

Si l'on doit prendre des précautions contre les bestiaux, il est un autre ennemi qui n'est pas à dédaigner : *la neige*. Nous reparlerons plus loin des dispositions employées pour rejeter la neige hors de la voie : charrues et grattoirs ; mais nous dirons ici quelques mots des dispositions défensives et préventives qu'on est obligé de prendre contre cet obstacle.

La neige se présente sous une infinité de formes ; tantôt elle tombe en gros flocons, tantôt en petits grains ; certains jours elle est humide et s'attache à tout ce qu'elle rencontre ; certains autres, elle est sèche et fine comme du sable. Lorsqu'elle se présente sous ce dernier aspect, ce n'est pas du moment où elle tombe qu'elle est à craindre, mais lorsque, balayée par le vent, elle vient s'accumuler en masse compacte sur le premier obstacle rencontré. On comprend donc qu'en disposant le long de la voie des clôtures spéciales du côté de la direction du vent régnant, on arrivera à empêcher la neige de venir s'accumuler sur les rails. Ces clôtures n'ont pas besoin d'être pleines, et le tourbillon produit par le passage du vent à travers une barrière à claire-voie suffit pour arriver au résultat désiré.

On cherchera donc à faire ces clôtures très économiquement, puisqu'on en aura de grandes longueurs à établir. On les constitue avec des arbustes ou, si on n'en a pas à sa disposition, avec des planches brutes réunies d'une façon rustique. Pour éviter que, lorsqu'il y a des feux de prairies la barrière ne vienne à brûler, on remplace la planche inférieure par un simple fil de fer. Ces barrières ont une hauteur de 3 *m* dans les endroits très exposés ; le plus souvent, elles sont inclinées, et les pieds se replient à la manière d'un pliant, de façon à permettre de les enlever au printemps pour donner le champ libre aux cultures environnantes. La plupart de ces clôtures inclinées ont 1,50 *m* à 1,60 *m* de hauteur, mais, pour

être efficaces, elles doivent être placées au moins à 15 *m* de la voie ; dans les endroits très exposés, on place une seconde barrière à environ 15 *m* de la première, c'est-à-dire à une trentaine de mètres de la voie.

En plusieurs endroits, on remplace les barrières par des murs de neige formés de blocs superposés, on plante une série de planches verticales dans le mur et, lorsque celles-ci sont recouvertes, rien n'empêche d'en planter une seconde série dans la neige accumulée et gelée autour des premières, et ainsi de suite.

Il est inutile d'ajouter que ces défenses contre la neige varient à l'infini et font l'objet de dispositions spéciales plus ou moins employées.

Dans la traversée des Montagnes-Rocheuses, on est obligé de construire des « snow shed » (*fig. 6*), véritables tunnels en bois destinés à protéger la voie des avalanches qui descendent du versant de la montagne, ou bien à garantir la ligne à la traversée d'une tranchée ; dans ce dernier cas, le « snow shed » n'est qu'un simple toit, mais dans le cas de construction à flanc de coteau, les « snow sheds » sont d'importantes constructions en charpente avec murs de soutènement, etc. Le Canadian Pacific Railway a cinquante-deux de ces « snow sheds » dans la traversée des Montagnes-Rocheuses, et quelques-uns n'ont pas moins d'un mille de longueur.

Ces constructions, outre leur prix élevé, ne sont pas sans autres inconvénients ; en hiver, il est très bon d'avoir un peu de neige sur la voie, car elle protège les rails contre la gelée ; d'autre part, en été, les rails deviennent gras sur une voie ainsi couverte, ce qui n'est pas sans inconvénient dans des endroits à forte pente, et enfin, la chance d'incendie est grande, quelque précaution qu'on prenne. Pour ces raisons, on établit une voie d'été en dehors du « snow shed » et on y passe toutes les fois que le temps le permet.

Ponts et ouvrages d'art.

Comme nous l'avons expliqué plus haut, le chemin de fer américain franchit les dépressions de terrain au moyen de chevalets le plus souvent en bois ; mais, là où l'établissement des chevalets est rendu impossible par une eau profonde et rapide, on construit des ponts qui sont également en bois.

Ponts en bois. — Calculés et construits avec le plus grand soin, il se composent en général de pièces en croix, assemblées à mi-bois, réunies par de forts et longs boulons en fer ; les pièces de

contreventement sont fixées aux poutres proprement dites au moyen de pièces de fonte, toutes les mêmes.

Les différentes travées du pont sont soutenues par des piles fondées sur pilotis, lorsqu'on est en rivière, ou bien elles sont portées par des pylônes de très grande hauteur, souvent quand on traverse un ravin.

L'exemple le plus hardi et le plus curieux de ces ponts en bois est celui de Stony-Creek, dans les Montagnes-Rocheuses (*fig.* 7). Ce pont a une longueur totale de 157 *m*, avec une pente de 2,08 0/0. Il est composé de quatre travées ayant respectivement 30 *m*, deux de 57 *m* et 13 *m*. Le rail passe à environ 100 *m* au-dessus du fond du ravin, et le pylône principal en bois a 70 *m* de hauteur. Les travées en bois ont 8 *m* de hauteur sur 4,80 *m* de large ; chaque panneau des travées 3,20 *m*.

Les charges adoptées dans les calculs ont été :

Charges mortes : 2 660 livres par pied courant, soit 4 000 *kg* par mètre courant ;

Charges vives : 3 000 livres par pied courant, soit 4 500 *kg* par mètre courant.

Chaque panneau est, de plus, calculé séparément pour supporter un machine de 80 *t*.

Les ponts en bois ne peuvent être que temporaires. Après 10 à 12 ans de service, il est urgent de les remplacer par des ouvrages métalliques destinés à une très longue durée. C'est dans ce travail, par le choix du métal et le calcul approfondi des pièces, que les Ingénieurs du Canadian Pacific Railway sont arrivés à construire des ouvrages de premier ordre avec une grande économie.

Jusqu'à l'année dernière 600 ponts ont été remplacés et 95 autres sont actuellement en cours de transformation.

Ponts métalliques. — Les ponts américains ont été construits depuis longtemps, et sont encore établis, en partie, d'après le système dit « articulé » (pin connection). Les ponts de ce système ont une forme générale trapézoïdale, et sont de deux types principaux : à treillis simples (Pratt), et à treillis croisés (Whipple). Les barres qui forment les poutres sont constituées par des pièces simples ou composées, terminées par un œil à chaque extrémité, des boulons de forte dimension assurant l'assemblage des pièces entre elles. Les pièces travaillant à la traction sont, en général, des « barres à œil », qui peuvent être rapidement fabriquées en

grande quantité; les pièces travaillant a la compression sont composées de fers en U réunis par des treillis.

Grâce à ce système de pièces articulées, la mise en place des ponts ne demande qu'un matériel et un personnel restreints, et le montage s'effectue avec rapidité.

De plus, le calcul des pièces articulées est facile et exact, puisque les différentes intersections des pièces du pont se font sur des axes communs, qui sont des boulons d'articulation. Leur grand inconvénient est qu'il suffit d'une négligence au moment de la forge des pièces, pour occasionner plus tard la rupture d'une barre à œil et, par suite, la chute du pont tout entier. C'est pour cette raison qu'on adopte maintenant, dans certaines grandes Compagnies, le système à rivure rigide, d'après les méthodes européennes.

Les ponts sont de deux sortes : nous les désignerons sous les noms anglais de « through » et de « deck ». Les ponts « through » *(fig. 8)* sont ceux dans lesquels le tablier repose sur la semelle inférieure des poutres, tandis que dans les ponts « deck » *(fig. 9)*, le tablier repose directement sur la partie supérieure des poutres. Les premiers sont principalement utilisés quand la hauteur disponible au-dessous du pont est faible, tandis que, pour les ponts situés à grande hauteur, on a avantage à employer les ponts « deck » qui sont plus économiques.

Les calculs doivent être basés sur des charges supposées les suivantes :

Deux machines type « Consolidation » (1), chaque essieu supportant un poids de 24 000 livres (10,8 *t*), l'essieu d'avant supportant 15 000 livres (6,75 *t*), et ceux du tender 21 250 livres (9,6 *t*) chacun.

Ce groupe de deux machines sera suivi d'un train pesant 3 000 livres par pied courant, c'est-à-dire 4 450 *kg* par mètre.

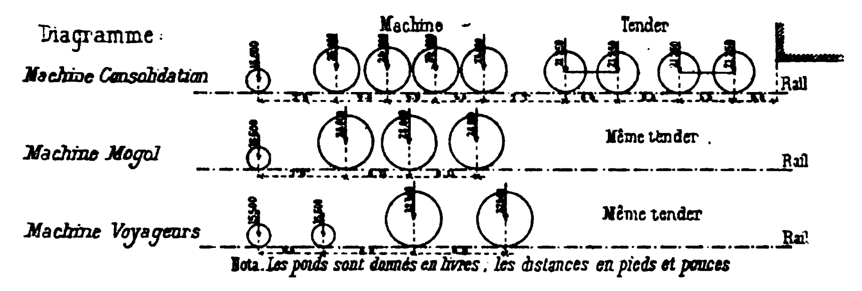
Pour plus de sécurité, on fait de même les calculs en supposant deux machines type Mogol (2) et de même deux machines à voyageurs (3).

(1) La locomotive « Consolidation » est une locomotive à quatre essieux couplés, avec truc d'avant à un seul essieu.

(2) La locomotive « Mogol « est une locomotive à trois essieux couplés avec truc d'avant à un seul essieu.

(3) La locomotive à Voyageurs est une locomotive à deux essieux couplés avec truc d'avant à deux essieux.

Les diagrammes suivants indiquent les poids et les dimensions de ces divers types de machine.



Dans les calculs préliminaires on emploie une formule (1) approchée, mais très pratique, qui donne immédiatement la charge morte équivalente à une charge roulante donnée.

Soient :

p, la charge morte du pont;

P, le poids de la charge roulante (deux machines, d'une longueur l);

L, la portée de l'ouvrage.

On obtient immédiatement R, poids réparti sur L et donnant les mêmes résultats d'efforts que P + p, par la formule :

$$R = P - (P - p)\left(1 - \frac{l}{L}\right)^2.$$

Par la rapidité des calculs on a déterminé les coefficients suivants :

Pour les portées de 20 à 105 pieds ;

$$P = 4\,600 \qquad p = 3\,240$$

$$R = 4\,600 - 1\,360\left(1 - \frac{l}{L}\right)^2;$$

Pour les portées au-dessus de 105 pieds :

$$P = 3\,730 \qquad p = 3\,000$$

$$R = 3\,730 - 730\left(1 - \frac{l}{L}\right)^2.$$

Cette formule donne ainsi les maxima des moments fléchissants en chaque point pour la position la plus défavorable de P.

En général, dans les ponts établis dans les Montagnes-Rocheuses, on a majoré dans les calculs le poids des locomotives de 25 0/0,

(1) Cette formule est due à M. Vautelet, assistant Ingénieur en chef du Canadian Pacific Railway, membre de la Société ; il a obtenu, à ce sujet, la médaille annuelle de la Société des Ingénieurs civils canadiens.

et on a pris le poids du train attelé aux dites locomotives de 4 000 livres par pied courant (5 935 *kg* le mètre) au lieu de 3 000 (4 450 *kg*).

Voici quelques indications que nous relevons sur le dernier cahier des charges du Canadian Pacific Railway, daté du 8 janvier 1894, et rédigé par M. E. Vautelet, assistant Ingénieur en chef sous la direction de M. P. A. Peterson, Ingénieur en chef de la Compagnie.

On emploie de préférence : les poutres à âme pleine pour les portées de 6 à 18 *m*, les poutres à âme pleine ou en treillis, de 18 à 40 *m*, et enfin les poutres en treillis ou bien les grandes travées articulées pour tout ce qui dépasse une portée de 40 *m*.

Les ponts se font aujourd'hui en acier dans la plupart des cas.

Les barres à œils qui composent les ponts du système articulé doivent donner aux essais les qualités suivantes :

	LIVRES PAR POUCE CARRÉ	KILOGRAMMES PAR MILLIMÈTRE CARRÉ
Ténacité minimum	58 000	40,7
d° maximum	65 000	45,7
Limite d'élasticité.	32 000	22,5
Allongement entre les repères. . .	sur 8 pouces : 25 °/°	sur 200 *mm* : 25 °/°
d° total.	sur 20 pieds : 10 °/°	sur 6,08 *m* : 10 °/°
Striction	40 °/°	40 °/°
(La fracture doit montrer partout un grain bien égal.)		

L'acier n'est accepté par la Compagnie que lorsque c'est de l'acier Martin fabriqué au procédé acide. L'acier Martin basique n'est accepté que dans certains cas. L'acier Bessemer n'est jamais accepté.

Le métal doit donner aux essais les résultats suivants :

	LIVRES PAR POUCE CARRÉ	KILOGRAMMES PAR MILLIMÈTRE CARRÉ
Ténacité minimum	58 000	40,7
d° maximum	65 000	45,7
Limite d'élasticité.	33 000	23,2
Allongement	sur 8 pouces : 20 °/°	sur 200 *mm* : 20 °/°
Striction	40 °/°	40 °/°

Quant au fer, qui est surtout employé pour les petites portées, il doit avoir les qualités suivantes :

	LIVRES PAR POUCE CARRÉ	KILOGRAMMES PAR MILLIMÈTRE CARRÉ
Ténacité	50 000	35,15
Limite d'élasticité	26 000	18,23
Allongement	sur 8 pouces : 18 °/o	sur 200 *mm* : 18 °/o
Striction	25 °/o	25 °/o

Dans les calculs des barres en tension, les efforts maxima doivent varier pour l'acier de 10 000 à 12 000 livres par pouce carré, ce qui correspond à 7 à 8,5 *kg* par millimètre carré, suivant les pièces considérées.

Les pièces à la compression sont calculées par la formule suivante qui donne l'effort maximum p, c'est-à-dire la compression permise par pouce carré de section :

$$p = \frac{A}{1 + \frac{l^2}{Br^2}}.$$

Dans cette formule :

A = 10 000 pour l'acier (1).

B varie de 20 000 à 40 000, suivant les pièces considérées.

l, longueur de la pièce en calcul.

r, plus petit rayon de giration de la section (en pouces).

Dans les calculs relatifs aux variations de température, on suppose un écart de 180° Fahrenheit, soit 100° centigrades.

Quant aux efforts dus aux vents, on calcule le contreventement de façon à résister à une pression latérale s'exerçant de la façon suivante :

1° Sur le train, charge mobile, à raison de 530 *kg* par mètre courant de tablier, la pression étant appliquée à 7 pieds (2,13 *m*) au-dessus de la base du rail ;

2° Sur le pont proprement dit, charge fixe, à raison de 240 *kg* par mètre carré, la pression agissant sur le double de la surface de projection verticale d'une des poutres.

(1) Quand on calcule des pièces diagonales de poutre on prendra A égal à 15 000 pour l'acier.

Enfin on doit tenir compte, dans les calculs, des tensions exercées sur le tablier par la force centrifuge si la voie est en courbe, ainsi qu'au serrage des freins à air comprimé; dans ce dernier cas, on admet que le coefficient de friction des roues sur les rails est de 20 0/0.

Dans les poutres à âme pleine, l'âme doit avoir toujours une épaisseur d'au moins 3/8 de pouce (9,5 *mm*), le métal ne devra pas travailler au cisaillement à plus de 3,16 *kg* par millimètre carré : les montants verticaux doivent être espacés d'une largeur égale à la hauteur de la poutre; l'effort permis au cisaillement p est donné par la formule :

$$p = \frac{12\,000}{1 + \frac{H^2}{3\,000}},$$

H étant le rapport de la largeur à l'épaisseur de la pièce.

Dans les poutres en treillis, les barres de treillis doivent être inclinées à 60° au moins pour les barres simples, et à 45° pour les barres doubles. De plus, le pont est dessiné de façon à avoir une cambrure telle que le passage d'un train pesant 4,5 *t* par mètre ne provoque pas de dénivellation au centre des poutres, même lorsque la température est la plus basse connue.

Construction des ponts rivés. — Le nombre des rivets doit être calculé de façon que l'effort du cisaillement (shearing) ne dépasse pas 5,27 *kg* par millimètre carré, ou bien trois quarts de la tension permise dans la pièce considérée; de plus, l'effort d'arrachement (bearing) ne doit pas dépasser 8,4 *kg* par millimètre carré, ou bien une fois et demie la tension permise dans la pièce considérée.

Entre deux rivets consécutifs il faut un espacement d'au moins deux fois et demie le diamètre des rivets, mais cet espacement ne doit pas dépasser quinze fois l'épaisseur de la tôle la moins épaisse traversée par le rivet. Le centre d'un rivet doit toujours être à plus de 38 *mm* du bord de la tôle et à plus de 32 *mm* de l'angle intérieur d'une cornière.

Le *traçage des pièces* se fait en Amérique d'une façon tout à fait particulière.

On n'exécute pas ce travail directement sur la pièce métallique, mais des ouvriers spéciaux fabriquent des gabarits ou

patrons en bois (templets), au moyen desquels le traçage proprement dit se fait facilement.

Supposons une cornière à ailes inégales, il s'agit de la couper de longueur et de tracer sur une des ailes une rangée de trous, et sur l'autre deux rangées; on prendra une barre en bois de la largeur de la plus grande aile et de 1 *cm* environ d'épaisseur, puis on viendra percer des trous de 15 *mm* de diamètre correspondants aux rivets de l'une et l'autre des ailes ; des touches de peinture conventionnelle empêcheront toute erreur. Le patron en bois sera alors transporté à l'atelier de construction proprement dit et les trous de rivets seront tracés avec un pointeau à téton de 15 *mm* (faibles) de diamètre.

Ce système de gabarits en bois peut donner lieu à de justes critiques en raison de la facilité de déformation que le bois présente, mais on lui trouve les avantages suivants :

1° Les ouvriers (templets mackers) sont pris parmi des gens intelligents; ils sont, en général, en très petit nombre, car le travail est facile sur le bois, et, par conséquent, se fait rapidement et sans erreurs;

2° L'atelier de ces ouvriers est à proximité du bureau des dessinateurs, ceux-ci peuvent être consultés au besoin; les dessins ne se salissent pas et ne risquent pas de s'égarer dans l'atelier de rivure;

3° Le traçage sur le métal se fait sans difficultés par des manœuvres qui servent en même temps d'aides aux poinçonneurs;

4° Les patrons en bois peuvent être conservés facilement, ce qui est utile pour les ouvrages standard, c'est-à-dire ceux qu'on est appelé à refaire plusieurs fois. Si les patrons ne doivent pas être conservés on les fait resservir en bouchant les trous avec de petites chevilles en bois.

Dans le travail à l'atelier proprement dit, le cahier des charges spécifie de nombreuses précautions dans la construction; nous résumons les principales :

Les tôles doivent être parfaitement dressées à l'atelier avant leur emploi; il est interdit de poinçonner les fers double T; les trous, dans ce cas, doivent être faits au foret; les trous poinçonnés devront l'être à un diamètre plus petit que le diamètre définitif qui sera obtenu à l'alésoir; ajoutons que cette clause n'est pas toujours remplie, mais qu'en tous cas, le pont doit être entièrement assemblé à l'atelier avec les boulons, et que les trous doivent être

alors tous alésés. Le jeu entre le rivet froid et le trou doit être de 1/16 de pouce, c'est-à-dire environ 1,6 *mm*.

Les pièces qui doivent travailler à la compression doivent être dressées de bout au moyen d'une raboteuse spéciale, de façon que l'effort se transmette exactement par tous les points de la section.

Le rivetage est fait autant que possible à la machine (à la machine hydraulique de préférence); la pression doit être maintenue sur la tête du rivet jusqu'à ce que celle-ci soit devenue sombre; on emploie les rivets en acier doux pour les rivets posés à la machine et des rivets en fer pour les rivets posés à la main.

Sabots. — Tout pont de plus de 20 *m* de portée doit être muni de sabots à rouleaux à l'une de ses extrémités; les rouleaux ont, en général, 50 *mm* de diamètre, et la pression par pouce courant de rouleau ne peut excéder $\sqrt{600\ d}$, d étant le diamètre du rouleau (en pouces). Les rouleaux sont protégés au moyen de cornières et de tôles, qui empêchent la poussière, la pluie et la neige de pénétrer jusqu'à eux tout en permettant leur visite facile.

La pression des plaques de sabot sur la maçonnerie ne doit en aucun cas dépasser 18 *kg* par centimètre carré. En général, au Canada, on emploie pour les culées de la maçonnerie de granit.

Le Canadian Pacific Railway a mis en service l'hiver dernier un type de sabot au moyen duquel un certain jeu dans tous les sens est laissé dans la position du pont par rapport à la maçonnerie. Le sabot est composé d'un disque lenticulaire en acier de 330 *mm* de diamètre, de 75 *mm* dans sa plus grande épaisseur et de 20 *mm* au bord, les surfaces lenticulaires ayant 500 *mm* de rayon. Le disque est aussi bien utilisé dans le sabot fixe que dans le sabot mobile. Les essais ont donné les meilleurs résultats, et cet appareil est exigé actuellement dans tous les nouveaux ouvrages (1).

Poids des ponts. — Grâce aux dispositions que nous venons d'indiquer, le poids des ponts du Canadian Pacific Railway est relativement faible. Nous avons réuni dans les tableaux suivants les poids de quelques travées standard les plus fréquemment construites :

(1) Voir *Génie Civil*, numéro du 31 décembre 1892.

PORTÉE DE LA TRAVÉE		POIDS	
pieds	*mètres*	*lbs*	*kilogs*
I. — Ponts rivés à âme pleine « deck » (à tablier supérieur).			
20	6,10	12 560	5 650
25	6,62	18 930	8 515
30	9,15	19 360	8 720
40	12,20	27 600	12 400
50	15,25	36 000	16 200
60	18,30	48 000	21 600
70	21,35	65 000	29 250
80	24,40	78 000	35 100
II. — Ponts rivés à âme pleine « trough » (à tablier inférieur).			
40	12,20	47 700	21 400
50	15,25	58 800	26 450
60	18,30	76 890	34 600
70	21,35	86 500	38 925
80	24,40	112 000	50 400
90	27,45	145 900	75 610
III. — Ponts rivés en treillis « deck » (à tablier supérieur).			
90	27,45	94 500	43 025
100	30,50	100 000	45 360
130	39,65	142 000	63 900
IV. — Ponts dits « pin connection » « through » (articulés à tablier inférieur).			
150	45,75	240 000	108 000
200	61	360 000	162 000
240	73,20	475 000	214 000
325	99,15	925 000	416 300

Le prix de revient des ponts du Canadian Pacific Railway correspond à un prix moyen de contrat de 4 cents la livre (0,47 *f* le *kg*), mis en place. Observons que la main-d'œuvre est chère (8 à 15 *f* par jour) et que l'acier vient d'Écosse, dans la plupart des cas.

Plancher du Pont (fig. 10). — Ce n'est que dans des cas exceptionnellement rares que les Compagnies américaines construisent leurs ponts avec planchers métalliques jointifs.

Le Canadian Pacific Railway emploie des traverses en bois de

30 × 20 *cm* et de 4,20 *m* de long, qui sont posées sur leur petit côté et laissent entre elles un vide de 10 *cm*. Pour maintenir cet écartement des traverses, aussi bien que pour arrêter un wagon déraillant sur le pont, on dispose sur la longueur de la travée, et de chaque côté de la voie, deux longrines entaillées de 1 pouce au droit de chaque traverse. La longrine intérieure, qui a 20 × 12 *cm* d'équarrissage et placée à plat, est à une distance de 0,94 *m* de l'axe de la voie; elle porte sur l'angle intérieur une cornière de 75 × 75, fixée par de grosses vis à bois. La longrine extérieure de 20 × 25 *cm*, est située à 1,75 *m* de l'axe de la voie. Ces longrines sont réunies aux traverses, de trois en trois environ, par des boulons de 3/4 de pouce avec rondelles en fonte.

A chaque extrémité du pont, les longrines intérieures s'évasent sur une longueur de 9 mètres, de façon à venir rejoindre les longrines extérieures. Cette disposition a pour but de forcer un wagon ayant déraillé avant le pont, à s'engager sur celui-ci sur une partie où sa charge ne peut nuire à la solidité de l'ouvrage.

La partie inférieure des traverses est entaillée de façon à empêcher tout déplacement latéral, sur les poutres dans les ponts « decks » et sur les longerons dans les ponts « through ».

Nous donnons les dessins de quelques-uns des principaux ponts du Canadian Pacific Railway. Nous avons choisi les exemples les plus typiques des ponts construits au Canada.

Pont du système dit « articulé » (fig. 11). — Ce pont donne le type « classique » du pont articulé américain à tablier inférieur; les poutres sont très hautes 9,15 *m* : de centre à centre des boulons d'articulations, elles sont fortement contreventées à la partie supérieure, et ce contreventement forme un portique incliné à chacune des extrémités du pont. La portée du pont est de 50 *m* répartie en 8 panneaux de 6,30 *m*; au droit de chaque montant vertical une entretoise supporte 4 longerons en fer double T, à la façon ordinaire. Le plancher du pont est formé de traverses en bois du type que nous avons indiqué.

Pont de Lachine (fig. 12). — Travées de trois types différents, èn acier. — 1 098 mètres de long environ. Il se compose de deux arches de 124,4 *m* érigées sur la partie profonde du fleuve qui sert de chenal aux bateaux; du côté de Lachine, il comprend, à partir des arches, une travée de 80,2 *m*, sept de 73,8 *m* et une de 74,2 *m*; du côté du Caughnawagha, une de 82,2 *m*. Ces travées sont

construites d'après le système « pin connection », chacune indépendante, excepté les deux de 82,2 *m*, qui forment travées continues avec les arches et qui ont servi au montage en porte à faux de celles-ci. Du côté de Lachine, le pont est terminé par trois petites travées à âme pleine de 24,4 *m* de portée.

Les piles et les culées (*fig. 13*) représentent un volume total de 5 807 m^3 de maçonnerie, 3 688 m^3 de béton et 4 420 m^3 de remplissage. Les fondations ont nécessité une extraction de 418 m^3 de gravier, et 1 225 m^3 de rocher. Le poids du pont est réparti de la façon suivante :

				Livres.	Kilogrammes.
3 travées âme pleine			»	211 601	75 220
8 —	« deck »	de	74 *m*	3 857 296	1 735 783
1 —	—	de	82 *m*	706 631	317 983
2 arches		de	124 *m*	2 663 492	1 198 771
1 travée	« deck »	de	82 *m*	706 531	317 983
1 —		de	39 *m*	170 314	74 641
		Total général	. . . . .	8 315 965	3 720 381

Le prix de contrat du métal a été de 4,4 cents, 4,63 cents, et 4,50 cents la livre, pour les travées « deck » et de 5,214 cents pour les arches, soit de 0,51 *f* à 0,602 *f* le kilog.

Le prix total a été de 943 387 dollars, c'est-à-dire 4 905 612 francs.

La maçonnerie fut commencée le 18 mars 1886 et achevée le 12 novembre de la même année. Le montage fut commencé le 15 février 1886 et achevé le 30 juillet 1887.

Avant l'établissement du pont de Lachine, le Canadian Pacific Railway empruntait en été le pont d'une autre Compagnie devant Montréal, mais pendant l'hiver les trains traversaient le large fleuve sur une voie posée directement sur la glace.

Ponts de Sainte-Anne et Vaudreuil (fig. 14). — Ces ponts traversent la rivière Ottawa, près de son confluent avec le Saint-Laurent ; ils sont situés de part et d'autre de l'île Perrot, et sont composés en partie de travées analogues.

Le pont de Vaudreuil comprend deux travées à âme pleine de 19,8 *m* d'ouverture et sept de 21,8 *m* ; il comprend en outre 8 travées en treillis de 30,8 *m* d'ouverture.

Le pont de Sainte-Anne comprend huit travées à âme pleine de 20,2 *m*, puis deux travées en treillis rivées « deck », une grande travée articulée de 98,7 *m* de portée ; elle passe au-dessus

du chenal des bateaux vapeur qui est profond de 8,30 *m* en basses eaux. Enfin, trois travées de 31,9 *m* en treillis rivés — « through » — passent au-dessus des écluses du canal.

Le pont de Sainte-Anne comprend treize piles et deux culées; ses divers travaux de maçonnerie représentent 1 914 m^3 de déblais et ont nécessité la construction de 449 m^3 de maçonnerie et 360 m^3 de béton. Le prix de la maçonnerié et du béton a été de $ 15 le yard cubique, c'est-à-dire 128 francs le mètre cube.

Le prix de l'extraction des déblais est de 31 cents le yard cube pour l'extraction de la terre, 90 cents pour les graviers et $ 2 pour le sable et la terre à extraire du fond de la rivière.

La partie métallique comprend :

La grande travée de 99 *m*, qui pèse	931 749 lbs,	soit	419 187 *kg*
Les travées de 32 *m*, qui pèsent chacune	176 870	—	79 592
Les travées de 31 *m*, qui pèsent chacune	108 478	—	48 815
Les travées âme pleine 20 *m*, qui pèsent chacune	55 541	—	23 893
Ce qui donne un poids total de métal de	2 123 643 lbs,	soit	955 639 *kg*

Les prix des contrats pour ce travail ont été :

De 4,80 cents la livre pour la grande travée (0,55 *f* le kilog.)
De 4,15 cents — pour les travées de 30 mètres (0,48 *f* le kilog.)
De 3,77 cents — pour les travées à âme pleine (0,43 *f* le kilog.)

Le prix du pont de Vaudreuil a été :

Substructure . . .	$ 76 892,00	398 799 *f*
Superstructure . . .	60 338,00	313 958
TOTAL . .	$ 137 230,00	713 597 *f*

Le prix du pont de Sainte-Anne a été :

Substructure . . .	$ 89 621,00	466 029 *f*
Superstructure . . .	95 587,00	497 052
TOTAL . .	$ 185 208,00	963 082 *f*

Pont du Sault-Sainte-Marie (fig. 15). — Le pont du Sault-Sainte-Marie fait communiquer la rive canadienne avec la rive américaine,

au-dessus des rapides de la rivière Sainte-Marie qui, comme on le sait, est le déversoir du lac Supérieur dans le lac Huron.

Actuellement, il comprend : un grand pont tournant de 119,8 *m* de portée. Ce pont tournant permet le passage des navires dans le canal latéral aux rapides. Le pont proprement dit est composé de dix travées de 73,7 *m* de portée. On voit les difficultés auxquelles a donné lieu la construction de ces neuf piles en rivière, dans les conditions indiquées plus haut *(fig. 16)*.

Le pont tournant pèse 829 525 livres (373 286 *kg*). Le prix du contrat ayant été de 5,12 cents la livre (0,58 *f* le *kg*).

La substructure de ce pont a coûté	$	32 797	170 550 *f*
La superstructure — —		45 632	237 280
TOTAL	$	78 429	407 830

Les dix travées qui forment le pont principal pèsent 465 936 lbs soit 209 672 *kg*. Le contrat ayant été donné à 4,5 cents la livre (0,52 *f* le *kg*), le prix du pont a été :

Substructure	$	109 405	620 906 *f*
Superstructure		212 082	1 102 826
TOTAL . .	$	321 487	1 723 732

Le Canadian Pacific Railway a monté, l'été dernier, deux nouveaux ponts en acier :

Le pont de Salmon River (fig. 17), qui comprend une arche de 82,3 *m* d'ouverture. Cette arche, en forme d'arc de parabole, a une flèche de 15,2 *m*, elle est composée de panneaux de 6 *m*, et 7,5 *m* de largeur à rivure rigide. De chaque côté du pont, deux travées de 52 *m* chacune sont construites à âme pleine. « deck ». Le poids de l'arche est de 280 tonnes ; elle a été montée à côté de l'ancien pont, grâce à une légère inflexion de la voie.

Le pont de Stony-Creek (fig. 18), destiné à remplacer le pont en bois dont nous avons parlé plus haut, se compose d'une arche de 102,5 *m* d'ouverture et de 27,5 *m* de flèche ; cette arche composée de panneaux de 7,50 *m* de largeur, supporte six travées indépendantes en treillis rivés sur lesquelles sont placés les rails. Comme nous l'avons déjà vu, le niveau de la voie est à peu près à 100 *m* au-dessus du fond du ravin, et le montage s'est effectué à la place même de l'ancien pont en bois, sans que le service des trains en ait eu à souffrir. Les charges adoptées

dans les calculs ordinaires ont été augmentées de 15 à 20 0/0, afin de s'assurer toute sécurité. — Le poids total du pont est de 590 tonnes.

Ouvrages en maçonnerie.

On emploie la maçonnerie chaque fois que l'on trouve la pierre à proximité du chemin de fer et cette maçonnerie est dite « rustique », c'est-à-dire qu'elle est construite avec des pierres dressées seulement sur les lits, et simplement dégrossies sur leur face apparente.

La maçonnerie est, en général, préférée au métal chaque fois que les fondations le permettent et que le prix est avantageux. A Montréal et dans les environs, le prix de la maçonnerie rustique n'est que de 6 à 8 dollars le cubic yard, environ 40 *f* le mètre cube.

La maçonnerie est, en général, très employée pour les ponceaux destinés à assurer l'écoulement des eaux sous les remblais. Le système le plus simple consiste en deux petits murs parallèles posés sur un radier et sur lesquels on place de larges dalles de pierre. Les dimensions ordinaires des ponceaux dallés sont de 91 *cm* × 1,20 *m*; 91 *cm* × 1,50 *m*; 1,20 *m* × 1,50 *m*; 1,20 *m* × 1,80. La largeur des dalles est de 3,35 *m* pour ponceaux doubles, et de 1,65 *m* pour ponceaux simples. L'épaisseur des dalles est, en général, de 40 *cm*. Lorsqu'il est nécessaire d'avoir des ponceaux plus importants, on emploie la voûte en plein cintre ou surbaissée en arc de cercle. Parmi les types les plus employés citons le ponceau de 16′ d'ouverture plein cintre, et le ponceau de 25′ arc de cercle. Il arrive souvent qu'une des extrémités présente une ouverture évasée, qui est du côté de l'amont, le côté aval étant simplement construit avec deux murs de soutènement presque parallèles. Toute la maçonnerie est de la maçonnerie rustique, excepté les façades des extrémités, qui sont en maçonnerie soignée.

Un des principaux exemples d'ouvrages en maçonnerie exécutés par le Canadian Pacific Railway est le viaduc d'approche de la gare terminale de Montréal. Les arches en plein cintre ont 7,50 *m* de largeur, et le passage des rues est assuré par des voûtes en anse de panier de 13 *m* de portée; l'épaisseur de la voûte à la clef est de 1 *m*.

Stations.

On comprend quatre classes de stations correspondant à leur importance. Les bâtiments de ces stations sont généralement en

bois. Il n'y a que depuis quelques années que des stations en pierre ont été élevées sur la ligne de Montréal à Détroit, sans parler de la grande gare terminale de Montréal « Windsor Depôt ».

La gare de *première classe* en bois avec fondations en maçonnerie comprend un corps de bâtiment élevé d'un étage, de 70 pieds sur 25 pieds, soit 160 m^2. La construction des stations de première classe comprend pour chacune d'entre elles : 216 cubic yards de maçonnerie et une quantité de bois représentant 23 400 pieds, mesure de planche.

Seconde classe. — Comprend une salle d'attente pour le public, avec un petit bureau de billets et de télégraphe, où se tient l'agent; à côté de la salle d'attente, une pièce de la même dimension est destinée aux bagages et marchandises. Cette partie est surmontée d'un premier étage qui sert de logement aux employés. Par derrière un bâtiment en rez-de-chaussée, comprend une cuisine et une salle pour les employés. Ces stations sont entièrement en bois; leur gros œuvre comprend 23 270 pieds, mesure de planche.

La nouvelle gare de Montréal, le « *Windsor Depôt* », située au milieu de la ville haute, est un grand bâtiment en pierre, style féodal, qui sert à la fois de gare proprement dite et de bureaux pour la direction, l'administration et les divers services de la Compagnie. Les trains arrivent sous une toiture métallique vitrée, qui est un modèle de légèreté. Outre le « Windsor Depôt », la Compagnie possède encore dans Montréal la *gare Dalhousie* située sur le port, à l'est de la ville. Un système de voies de raccordements fait le tour de la ville, en passant de l'autre côté du Mont-Royal, et met les deux lignes en communication; de cette façon on fait partir de chacune des gares les trains en deux sections, qui se réunissent à « Montréal Junction », pour se diriger sur Halifax, sur Toronto, etc.

Pour terminer ce qui a rapport aux stations, disons quelques mots des appareils destinés à l'approvisionnement en eau et en charbon.

Le réservoir Standard, qui est le plus souvent employé, contient 40 000 gallons (180 m^3) d'eau. Il se compose d'une cuve légèrement tronconique de 8 *m* de diamètre à la base, et de 5,5 *m* de hauteur. Cette cuve est couverte d'un toit léger en bois. L'ensemble du réservoir repose sur un bâti octogonal, dont le centre se trouve à 7,10 *m* de l'axe de la voie. Une cheminée est ménagée au centre

de la cuve pour permettre, en hiver, de faire du feu sous le réservoir pour empêcher la congélation de l'eau. Le remplissage du tender se fait au moyen d'un tuyau en acier galvanisé basculant et équilibré.

L'alimentation en charbon s'effectue au moyen d'estacades en bois, sur lesquelles on fait monter, par un plan incliné, les wagons de charbon. Ceux-ci sont déchargés directement dans de grandes cases pouvant contenir 3, 5 et 6 *t* de houille. Il sera alors facile de faire tomber le charbon directement dans le tender, par la seule ouverture d'une porte.

Élévateurs à grains.

On sait que les élévateurs à grains, en Amérique, sont des bâtiments munis d'appareils mécaniques qui effectuent le déchargement des wagons (où le grain a été chargé en vrac), pèsent ce grain, le nettoient et l'emmagasinent dans des sortes de réservoirs en bois, d'où il pourra être chargé sur de nouveaux wagons ou dans les bateaux qui doivent en effectuer le transport.

Le Canadian Pacific Railway a construit des élévateurs à grains dans les principaux ports d'embarquement ; c'est ainsi qu'il possède deux grands élévateurs à Montréal, trois à Fort-William, un à Halifax, un grand élévateur à Boston, etc.

Nous parlerons ici principalement des élévateurs de Montréal construits sur le quai de Saint-Laurent. Ce sont d'immenses constructions ayant 70 *m* de long sur 26 *m* de large et 65 *m* de haut. Ces constructions sont tellement originales qu'il est intéressant de s'y arrêter un peu. Les fondations seules ont donné lieu à l'emploi de pièces d'équarrissage en bois combinées, suivant les cas, avec des fondations en maçonnerie.

Mais quant à la superstructure elle est entièrement en bois plein sans fenêtres. On prend des planches de 5 *cm* d'épaisseur et dont la largeur varie de 20 à 12 *cm*. Sur tout le pourtour de l'élévateur et sur tous les refends, on pose à plat ces planches, et on fait des lits superposés qui sont cloués les uns sur les autres, en croisant, bien entendu, tous les joints. On constitue ainsi de vrais murs en bois dont l'épaisseur, qui est de 20 *cm* dans le bas, diminue au fur et à mesure, jusqu'à n'être, dans le haut, que de 12 *cm*.

Le bois est garanti à l'extérieur par des feuilles de tôle généralement ondulées et peintes en rouge. Les Américains ont presque partout adopté ce genre de construction, parce que le grain n'y gèle pas, et parce qu'elle est, en somme, économique. La quantité

de bois employé est relativement très importante, mais il ne faut pas perdre de vue que le bois coûte très bon marché en Amérique; il ne vaut, à l'état de planches, que 10 *f* le mètre cube, dans les scieries de la Colombie anglaise où la Compagnie va s'approvisionner. Par contre, la construction en bois, telle qu'elle est ci-dessus décrite, ne nécessite pas l'emploi d'ouvriers spéciaux et, conséquemment, le prix de main-d'œuvre est relativement très faible.

Observons, en passant, combien sur ces immenses panneaux très hauts et sans fenêtres, les Américains peuvent se livrer à leur goût pour les inscriptions gigantesques.

A Montréal, les fondations sont faites sur pilotis et béton, ce dernier étant calculé pour supporter un poids de 423 livres par pouce carré. Ces fondations n'ont pas coûté moins de 774 000 *f*, qui se décomposent ainsi pour les deux élévateurs :

Pilotis et bois d'équarrissage . . .	54 000 *f*
Béton	52 000 *f*
Maçonnerie.	628 000 *f*
Excavation.	40 000 *f*

La quantité de bois employé n'a pas éte moindre de 1 258 000 pieds, mesure de planche, soit 2 968 m^3.

Inutile de dire que toutes les précautions contre l'incendie ont été prises.

Le déchargement des wagons s'effectue au moyen de cinq pelles en bois automatiques qu'on amène dans la porte même du wagon et qui font glisser le grain hors de celui-ci; par ce système, un wagon de 600 boisseaux (1), soit 220 *hl*, est vidé en quinze minutes et on peut décharger 10 500 à 11 000 *hl* par jour. Neuf courroies à godets élèvent le grain au sommet. Ces courroies ont 50 *cm* de large et chacune d'elles porte 170 godets contenant chacun 7 *l* de grain. Les courroies marchent à une vitesse de 150 *m* à la minute et elles peuvent élever par jour 1 900 *hl* à la hauteur de 40 *m*. Au sommet, sont placés des tarares et secoueurs qui ont 1,50 *m* de diamètre, et une vitesse de 625 tours à la minute; avant de tomber dans les cases d'emmagasinage, le grain est pesé et le poids enregistré par des balances.

Les cases ont environ 4 *m* × 4 *m*; il y a une quarantaine de ces cases et chacune contient en moyenne 5 040 *hl* de blé. La capacité totale de chaque élévateur étant de 20 000 *hl*, deux cases

(1) 1 boisseau de blé = 36 *l*.

seulement sont réservées pour charger les wagons et il suffit de trois minutes pour effectuer le chargement de 220 boisseaux; les autres cases alimentent les transporteurs à courroies couverts qui passent par-dessus le quai, pour déverser le grain directement dans les navires.

L'emploi de ces transporteurs à courroies offre des avantages qui les ont fait adopter dans les principaux élévateurs; nous avons réuni dans le tableau suivant cinq exemples de transporteurs à courroies des élévateurs du Canadian Pacific Railway.

Largeur de la courroie. .	Mètres.	0,60	0,76	0,92	1,07	1,22
Force nécessaire. . . .	Chev.-vap.	4	5,2	7	9,4	12 5
Capacité totale. . . .	Boisseaux.	4 000	6 000	9 000	13 000	18 000
Un cheval-vapeur par.	— .	2 000	1 150	1 285	1 380	1 440
Prix : 0,05 *f* par . . .	— .	500	600	643	690	720

L'élévateur de Boston, dont la capacité totale est de 2 millions de boisseaux, possède des transporteurs à courroies de 400 *m* de long, en ligne droite.

A Montréal, la force motrice qui est donnée par un groupe de chaudières est envoyée aux machines de chacun des deux élévateurs placées dans les sous-sols. Le prix de revient de la production de la force motrice est en moyenne de 2 cents par heure et par cheval. Du reste, les prix de manutention s'établissent ainsi :

Pour les pelles de déchargement, 1 cent par 1 000 boisseaux; pour les courroies à godets, 1 cent par 440 boisseaux. Ce qui fait, avec les tarares, les transporteurs et les cabestans pour la manœuvre des wagons, une moyenne de 1 cent par 335 boisseaux.

Le prix de revient total est le suivant :

L'année dernière, en quatre semaines, on a envoyé 308 863 boisseaux, on en a reçu 238 812, et la dépense a été de 5 652,25 *f*, ce qui met le boisseau à un centime. Du reste, ce prix varie facilement entre 0,005 *f* et 0,05 *f* le boisseau.

Les tarifs d'entrepôt sont de 0,05 *f* en été et de 0,025 *f* en hiver, plus 0,05 *f* pour chaque période de dix jours, y compris le chargement et le déchargement. Le bénéfice brut peut se déduire facilement de la comparaison des chiffres que nous venons de donner.

Quoique nécessairement incomplet, le chapitre des ponts et ouvrages d'art a montré, nous l'espérons, quelle importance ce service a acquis au Canadian Pacific Railway, et combien, par une étude approfondie de ces sujets, on est arrivé à réaliser une économie notable, tout en construisant des ouvrages dont la solidité et la durabilité sont relativement très grandes par rapport aux constructions américaines ordinaires.

CHAPITRE II

Organisation générale du trafic.

Divisions administratives. — Les lignes du Canadian Pacific Railway sont réparties en cinq divisions, qui sont :

1° Québec et Ontario Division : Québec, Montréal, Toronto, Détroit;

2° Atlantic Division : Ligne de Saint-Jean à Halifax ;

3° Eastern Division : Montréal à Fort-William ;

4° Western Division : Fort-William à Donald :

5° Pacific Division : Donald à Vancouver.

Chaque division comprend un certain nombre de sections ; par exemple, voici comment se décomposent les sections de la grande ligne :

SECTIONS		LONGUEUR EN MILLES	PROVINCES
EASTERN DIVISION. . .	Ottawa.	120,3	Québec.
	Chalk River.	125,4	Ontario.
	North Bay.	117,8	—
	Cartier.	114,4	—
	Chapleau.	137,2	—
	White River	131,4	—
	Schreiber.	118,9	—
	Nepigon	127,6	—
WESTERN DIVISION . .	Thunder Bay	152,7	—
	Wabigoon	145,2	—
	Rat Portage.	132,7	—
	Brandon	132,7	Manitoba.
	Broadiew.	131,2	—
	Régina	134,4	Assiniboïa.
	Swift Current. . . .	112,3	—
	Medicine Hat	149,7	—
	Crowfoot	124,5	Alberta.
	Calgary.	122,4	—
	Mountain.	116,0	—
PACIFIC DIVISION . . .	Selkirck	79,3	Colombie anglaise.
	Shuswap	128,2	—
	Thompson	121,5	—
	Cascade.	129,0	—

Comme on le voit, la longueur moyenne de chaque section est d'environ **200** *km*.

A la tête de chaque division est un « general superintendant » suppléé pour un groupe de sections — comme, par exemple, pour les sections Thunder Bay, Wabigoon et Rat Portage, — par un « assistant superintendant ». Chaque division, outre ses services administratifs et financiers et ses « general Passengers et Freight agents » a un service technique dirigé par un « Division Engineer » chargé des travaux d'arpentage, de dessin, ainsi que des réparations des ouvrages d'art de la division et de leur inspection.

Lorsque l'assistant superintendant a plus de deux sections sous ses ordres, il lui est adjoint un « Train Master », qui réside dans une ville intermédiaire. Par exemple, pour les trois sections indiquées ci-dessus, qui sont situées entre Fort-William et Winipeg, il y a un assistant superintendant qui réside à Fort-William et un train master à Rat Portage.

Dans chaque section, la marche des trains est réglée par un « Chief Train Dispatcher » et des « Train Dispatchers » qui ont seuls mission de donner des ordres pour la marche des trains. Nous rappelons ici que sur la ligne transcontinentale les trains circulent en voie unique, c'est ce qui explique l'importance des train Dispatchers.

La traction se fait par section, et à la tête de ce service est un « Mechanic-Master » résidant à chaque remise de locomotives, il est aussi chargé de l'inspection des wagons à chaque départ de train. Cette inspection, faite très sévèrement, comporte l'examen des essieux, des roues, des ressorts, des appareils d'accouplement et des freins ; enfin, il est encore chargé d'assurer l'approvisionnement des wagons en eau potable, en glace et en combustible, ainsi que du débouchage, en hiver, des tuyaux d'égout et W.-C. des wagons au moyen d'un jet de vapeur.

L'entretien de la voie est placé sous la direction du « Road Master » qui est aussi chargé du déblayage de la neige en hiver. Il a sous ses ordres les « Section Men ». Chaque section de la voie, de 10 à 12 *km* de longueur, est entretenue par trois hommes en hiver et cinq en été. Ils parcourent chaque jour la section d'un bout à l'autre sur leur « hand car », petit wagonnet qu'on met en mouvement au moyen d'un balancier analogue à celui d'une pompe à incendie, et sur lequel on fait facilement 20 *km* à l'heure. L'entretien de la voie est particulièrement difficile au Canada ou la température varie de 35° centigrades en été à — 45° en hiver. De plus, la gelée et le dégel produisent des soulèvements et des affaissements des traverses et parfois des remblais tout entiers.

Aussitôt que la terre peut être travaillée, les « Section Men » doivent rétablir les fossés pour l'écoulement des eaux et ensuite caler ou changer les traverses. Nous avons donné *(fig. 3)* un spécimen du profil détaillé d'une partie de la ligne indiquant toutes les divisions administratives.

Mouvement des trains.

Le mouvement des trains est réglé par les « Time Tables » de service, sortes d'indicateurs à l'usage des employés ; ils sont établis par chaque division. Nous donnons un spécimen de Time Table de la Western Division, ouvert à la page de la section de Rat Portage (p. 448 et 449).

Ce Time Table règle le service d'hiver en vigueur le 1er janvier 1893. Nous y voyons indiqués : la distance entre les stations, le « mileage » depuis Winnipeg — correspondant aux poteaux placés le long de la voie, — l'emplacement des réservoirs d'eau et les lettres par lesquelles on appelle télégraphiquement une station ; une étoile indique les stations où l'arrêt est facultatif et une croix, celles où l'on trouve un restaurant. Nous voyons qu'il passe un train de voyageurs-express dans chaque sens, excepté un jour de la semaine ; en effet, il ne part pas de train de Montréal et de Vancouver le dimanche. Nous remarquons qu'il passe trois trains de marchandises (freight) et un train de marchandises rapide (Time freight). Les heures auxquelles se croisent les trains sont marquées en caractères gras.

Nous lisons dans le bas de la feuille que les trains sont réglés sur le « Standard Central Time » ; en effet, l'heure est divisée, pour toute l'Amérique du Nord, en quatre régions qui varient d'une heure chacune. L'heure se répartit, pour le Canadian Pacific Railway, de la façon suivante :

Eastern Time — de l'Atlantique à Fort-William;
Central Time — de Fort-William à Brandon;
Mountain Time — de Brandon à Donald;
Pacific Time — de Donald à la côte du Pacifique.

A partir de Fort-William, l'heure est basée sur le système des vingt-quatre heures, c'est-à-dire qu'au lieu de dire 1 heure, 3 heures, 5 heures après midi, on dit 13 heures, 15 heures, 17 heures, etc. Ce système évite toute erreur dans la transmission des ordres, et s'il semble bizarre au premier abord, on reconnaît vite qu'il est très pratique.

Enfin les indications du Time Table portent soulignées des ob-

CANADIAN PACIFIC RAILWAY

WESTERN DIVISION.

RAT PORTAGE SECTION. – Trains West.

STATIONS	Telegraph Calls	Miles from Fort Will'm	PACIFIC EXPRESS No. 1. Exc't Wedn'y.		FREIGHT No. 61. Daily.		FREIGHT No. 63. Daily.		FREIGHT No. 65. Daily.		TIME FREIGHT No. 67. Daily.	
Rat Portage..§	RS	293.6	5 00	de	3 20	de	7 15	de	13 25	de	17 30	de
2.0 Norman.......	..	295.6	5 10	.	....	.	....	.	....	.	....	.
1.5 Keewatin....§	KN	297.0	5 17	.	3 50	.	7 45	.	13 55	.	18 05	.
7.6 Ostersund.....	UN	304.6	5 36	.	4 25	.	8 25	.	14 25	.	18 40	.
7.7 Deception.....	..	312.3 *	5 53	.	5 00	.	9 05	.	15 00	.	19 15	.
4.4 Kalmar......§	KA	316.7	6 08	.	5 20	.	9 25	.	15 20	.	19 35	.
7.9 Ingolf........	NF	324.6 *	6 27	.	6 00	.	10 00	.	16 00	.	20 20	.
10.2 Telford......§	RD	334.8	6 50	.	6 40 6 50 7 15	ar . de	10 40	.	16 40	.	21 10 21 20	ar de
10.5 Rennie.......§	RH	345.3	7 13	.	8 23	.	11 30	.	17 30	.	22 05	.
10.4 Darwin.......	RA	355.7	7 35	.	9 15	.	12 15	.	18 10	.	22 50	.
9.5 Whitemouth .§	U	365.2	7 57	.	10 05	.	13 00 13 20	ar de	18 55	.	23 20	.
6.1 Shelly........	HY	371.4 *	8 10	.	10 35	.	13 50	.	19 25 19 55	ar de	24 00	.
9.6 Monmouth....	MH	381.0	8 31	.	11 25	.	14 45	.	20 40	.	24 40	.
6.6 Water Tank ..§	..	387.6	....	.	....	.	....	.	....	.	....	.
3.1 Beausejour....	JO	390.7	8 50	.	12 10	.	15 35	.	21 20	.	1 15	.
6.6 Tyndall.......	YD	397.3	9 03	.	12 40	.	16 15	.	21 45	.	1 40	.
8.1 Selkirk......§	J	405.4	9 21	.	13 15	.	16 55	.	22 20	.	2 15	.
6.1 Gonor.........	..	411.5 *	9 34	.	13 45	.	17 25	.	22 45	.	2 40	.
7.1 Bird's Hill...§	BH	418.6	9 48	.	14 15	.	17 57 18 07	ar de	23 10	.	3 05	.
6.2 Winnipeg Jct.	W	424.8	10 03	.	14 45	.	18 40	.	23 35	.	3 30	.
1.5 Winnipeg..†§	C	426.3	10 10	ar	15 10	ar	19 05	ar	24 00	ar	3 35	ar

* Flag Stations. † Meals. § Water Tanks.

Rat Portage Section Trains will be run by Central Standard Time.

☞ Conductors, protect your Trains.

Printed instructions on slow boards must be strictly observed.

☞ See Emerson Section Mixed Trains Nos. 27 and 28.

☞ All Trains will approach Winnipeg Junction under full control, and not proceed until they know the road is clear.

Drawbridge over Red River, 1 mile east of Winnipeg.

J. A. CAMERON,
Asst. Superintendent,
Fort William.

W. H. FOGG,
Trainmaster,
Rat Portage.

CANADIAN PACIFIC RAILWAY

WESTERN DIVISION.

RAT PORTAGE SECTION. — Trains East

STATIONS	Telegraph Calls	Miles from Winnipeg	ATLANTIC EXPRESS No. 2. Except Thurs.		FREIGHT No. 62. Daily.		FREIGHT No. 64. Daily.		TIME FREIGHT No. 66. Daily.		FREIGT No. 68. Daily.	
Rat Portage . §	RS	132.8	23 35	ar	12 30	ar	18 35	ar	2 25	ar	5 45	ar
2.0												
Norman. . . .	. .	130.8	23 25	.	. . . .	.	. . . .	.	. . . .	.	. . . .	.
1.5												
Keewatin . . §	KN	129.3	23 15	.	12 05	.	18 05	.	1 55	.	5 17 5 07	de ar
7.6												
Ostersund. . .	UN	121.7	22 51	.	11 30	.	17 30	.	1 10	.	4 25	.
7.7												
Deception. . .	. .	114.0	* 22 28	.	10 55	.	16 55	.	24 30	.	3 45	.
4.4												
Kalmar	KA	109.6	22 12	.	10 35	.	16 35	.	24 05	.	3 25	.
7.9												
Ingolf.	NF	101.7	* 21 47	.	10 00	.	16 00	.	23 30	.	2 45	.
10.2												
Telford . . . §	RD	91.5	21 20	.	9 15	.	15 15	.	22 50	.	1 55	.
10.5												
Rennie . . . §	RH	81.0	20 55	.	8 23	.	14 30	.	22 05	.	1 05	.
10.4												
Darwin	RA	70.6	* 20 30	.	7 35 7 25	de ar	13 45	.	21 15	.	24 15	.
9.5												
Whitemouth. §	U	61.1	20 07	.	6 35	.	13 00 12 45	de ar	20 30 20 07 19 55	de ar	23 20	.
6.1												
Shelly	HY	55.0	19 55	.	6 00	.	12 15	.	19 25	.	23 00	.
9.6												
Monmouth . .	MH	45.3	19 31	.	5 15	.	11 25	.	18 45	.	22 10	.
6.6												
Water Tank. §	. .	38.7	. . . .	.	. . . .	.	. . . .	.	. . . .	.	. . . .	.
3.1												
Beausejour . .	JO	35.6	19 12	.	4 25	.	10 40	.	18 00	.	21 20	.
6.6												
Tyndall. . . .	YD	29.0	18 56	.	3 50	.	10 05	.	17 30	.	20 50	.
8.1												
Selkirk . . . §	J	20.9	18 40	.	3 10	.	9 21 9 10	de ar	16 55	.	20 10	.
6.1												
Gonor.	. .	14.8	* 18 23	.	2 40	.	8 35	.	16 30	.	19 40	.
7.1												
Bird's Hill . §	BH	7.7	18 07	.	2 00	.	8 00	.	16 05	.	19 10	.
b.2												
Winnipeg Jct.	W	1.5	17 53	.	1 30	.	7 30	.	15 40	.	18 40	.
1.5												
Winnipeg. .†§	C	0	17 45	de	1 00	de	7 00	de	15 10	de	18 10	de

* Flag Stations. † Meals. § Water Tanks.

Brokenhead Wood Siding, mileage 39.
Julius Wood Siding, mileage 5 cents.
Scott's Hill Wood Siding, mileage 65.

NOTE. — These sidings are only to be used for crossing trains in cases of emergency upon special orders from Train Dispatcher.

See Emerson Section Mixed Trains Nos. 27 and 28.

E. A. JAMES,
Chief Train Dispatcher,
Winnipeg.

E. B. FINK,
R. E. STARKS,
R. PEARD,
G. M. SHERLOCK,
F. G. HOGLE,
J. H. SCOTT,
} Train Dispatchers.

Train Dispatchers will sign their own initials to all train orders issued by them. These orders must be strictly carried out by train men and all concerned.

servations très importantes, comme « conducteurs, protégez vos trains », ainsi que d'autres spéciales pour le ralentissement au passage des jonctions, des ponts tournants, des chantiers de bois. Enfin chaque feuille porte les noms des « train dispatchers ».

Le bagage de l'employé du Canadian Pacific Railway comprend, avec le time table, les *Règles et Régulations*, petit opuscule de 87 pages in-18. Nous ne ferons pas une fastidieuse traduction de ces règlements, mais nous nous contenterons d'en donner quelques extraits :

Les trains sont classés en trains *de 1re classe* ou trains de voyageurs, *de 2e classe* ou trains mixtes; *de 3e classe* ou trains de marchandises et *trains spéciaux;* ceux-ci comprennent les trains directs, c'est-à-dire ne s'arrêtant qu'aux stations principales; les trains de travaux, les charrues à neige, et, en général, tout train non indiqué au time table. Tout train ayant plus de douze heures de retard est classé parmi les spéciaux. Or, on comprend qu'en hiver où il y a accumulation de neige, sur la ligne, il peut arriver que le time table devienne à peu près lettre morte, et que tous les trains circulent comme spéciaux; nous verrons plus loin comment alors se transmettent les ordres.

Il est disposé dans chaque station où les trains s'arrêtent, un registre spécial où tous les conducteurs laissent trace de leur passage et prennent connaissance de tout ce qui s'est passé dans les douze heures précédant leur arrivée. Lorsqu'un train est obligé de stopper entre deux stations, le conducteur doit protéger son train, c'est-à-dire envoyer un homme avec une lanterne ou un drapeau rouge, poser deux pétards à 1 200 *m*, 24 poteaux télégraphiques, ou si la voie est en courbe à 1 750 *m*, 35 poteaux télégraphiques. Lorsque les trains circulent comme *spéciaux* par suite d'un retard considérable ou toute autre cause, le mouvement des trains se fait par ordres télégraphiques; ces ordres sont donnés par le « train dispatcher » de la section : ils doivent être écrits sans abréviation et porter les initiales de celui des « dispatchers » qui a donné l'ordre, — et dont le nom figure sur le time table. Les ordres sont donnés suivant onze formes différentes prévues d'avance; ils sont reçus par l'agent télégraphiste de la station où le train est arrêté; les agents du train assistent à la réception; l'ordre est délivré en triple expédition, au moyen de papier bleu gras, — l'une au conducteur, l'autre au mécanicien, la troisième reste à la station. En langage télégraphique, les lettres OK signifient « all right », tout est bien.

Vitesse des trains. — Les trains de marchandises doivent s'arrêter à toutes les stations, même aux « flag stations », stations à arrêt facultatif pour les voyageurs; les trains express doivent ralentir avant d'y arriver, de façon à être prêts à stopper, si on leur en fait le signal. Les trains doivent s'arrêter une minute avant les ponts tournants et les croisements à niveau avec d'autres lignes; les charrues à neige doivent s'arrêter avant les ponts et tunnels.

Quant à la vitesse *commerciale* des trains, il est facile de la déduire de la lecture même du time table.

En service d'hiver, le train quitte Montréal le lundi, par exemple, à 8 h. 40 m. du soir et est à Vancouver le dimanche suivant à 1 heure de l'après-midi : il a donc mis 136 heures pour parcourir 2906 milles. La vitesse moyenne générale a été de 21,4 milles à l'heure, soit 34 *km*. D'après le time table détaillé de la station de Rat Portage, par exemple, l'express met 5 h. 10 m. à parcourir la section qui a 132,7 milles, il marche donc à 26,14 milles, soit 41,8 *km* à l'heure.

Il est certain que les trains vont parfois bien plus vite, en été, par exemple, et lorsqu'il s'agit de trains spéciaux; ceux-ci qui ne s'arrêtent qu'aux stations indispensables pour le changement des machines, ne mettent souvent qu'un peu plus de quatre jours, ce qui correspond à une vitesse moyenne générale de 50 *km* à l'heure.

Les trains de marchandises marchent à une vitesse de 12,6 milles soit 20,2 *km* à l'heure entre les terminus d'une même section, mais il arrive souvent que les wagons séjournent plus ou moins longtemps aux embranchements, gares importantes, etc.

Lorsqu'on a des marchandises qui nécessitent un transport rapide, soit parce qu'elles s'abîment facilement, soit parce que, comme les poudres, dynamites, la Compagnie désire les avoir le moins longtemps possible sur ses voies; elles sont expédiées par « Time Freight trains ». Ceux-ci, quoique marchant à une vitesse moyenne égale aux autres, ont l'avantage de ne stopper aux têtes de sections que juste le temps nécessaire à la traction. Le tarif est plus élevé, mais le service est fait plus rapidement.

Signaux. — A peu près analogues à ceux usités en France; les couleurs blanche, rouge et verte ont la même signification : la couleur verte correspond à une vitesse de 10 *km* à l'heure. Les signaux, en tant que disques et sémaphores, sont peu nombreux, mais les

stations qui ont le télégraphe ont, sur la façade de leur bâtiment, une simple planchette manœuvrable de l'intérieur même du bureau, qui, à l'arrêt, indique que le train doit stopper « pour ordres ». Dans les stations importantes ou dont les abords sont en courbe, on place des sémaphores à environ 300 *m* de la station; ces signaux doivent toujours être à l'arrêt et ne s'ouvrir qu'à la demande du train.

La locomotive a à sa disposition le sifflet qui, par des coups longs et courts combinés, fait serrer les freins, annonce l'approche des stations, répond aux signaux du conducteur du train, d'un aiguilleur ou d'une autre machine, etc., etc. Toutes les machines, en Amérique, sont pourvues d'une cloche que le mécanicien doit sonner quand il met le train en marche, quand il arrive à un passage à niveau, traverse une ville ou aperçoit des personnes sur la voie. Le conducteur du train communique avec le mécanicien au moyen d'une corde régnant d'un bout à l'autre du train et agissant sur un timbre dans la cabine de la machine; avec ce signal il peut faire arrêter le train de suite ou à la prochaine station ou bien le faire mettre en marche lorsqu'il est arrêté.

Les signaux d'un train de voyageurs sont deux lanternes rouges à l'arrière; ceux d'un train de marchandises trois lanternes rouges. La locomotive porte à l'avant un puissant fanal. Quand, en outre du fanal, elle porte deux drapeaux ou lanternes blanches, ceci indique, tout le long de la voie, qu'un train suit immédiatement le porteur du signal et qu'on doit laisser la voie libre jusqu'au passage du train ainsi « signalé ». Deux drapeaux ou lanternes rouges indiquent que tout train ou toute machine doit s'arrêter jusqu'au passage du train signalé.

Personnel. — Les trains de voyageurs ont :
Un conducteur,
Un Brakeman — garde-frein,
Un Bagageman,
Un News Agent.

Ce dernier parcourt le train d'un bout à l'autre en vendant, suivant les moments de la journée, des journaux, des livres, des fruits, des cigares, des sucreries, des photographies, des curiosités, etc., etc.

Les trains de marchandises ont :
Un conducteur,
Deux gardes-freins.

L'un se tient dans la vigie de la « caboose ».— fourgon de queue, et l'autre d'ordinaire sur la machine. Ces hommes circulent sur le toit des wagons, qui ont généralement deux freins, un sur chaque truc. Ce système a le grand avantage de multiplier les freins et de permettre aux agents de voir eux-mêmes le danger et d'y parer d'une façon intelligente; comme dans les trains de voyageurs, une corde règne depuis le fourgon où se trouve le conducteur jusqu'au timbre de la machine. Le danger que présente cette circulation des hommes sur le toit des wagons est que, lorsqu'on rencontre un pont en passage supérieur, les hommes (la nuit surtout) se fassent tuer par cet obstacle, la loi ordonne une hauteur de 7 pieds au-dessus du toit du plus haut wagon de la Compagnie, mais il y a d'anciens ponts qui n'ont pas cette hauteur réglementaire; dans ce cas environ 50 *m* avant le pont, on place en travers de la voie, à 2 *m* environ au-dessus du niveau du toit, une potence en bois, d'où pendent quelques menues cordes terminées par des nœuds; lorsque l'homme est heurté par ces cordes, il doit immédiatement s'accroupir sur le toit et laisser passer l'obstacle. Ce système n'a pas eu à être employé sur le Canadian Pacific Railway, où les passages sont, on le comprend, très rares, sauf aux abords des villes; tous les ponts donnent une hauteur claire de 7,50 *m* au-dessus des traverses; dans ces conditions, le système de la circulation sur les wagons à marchandises est très avantageusement pratiqué.

Parmi les employés que nous avons cités plus haut, le conducteur est le chef responsable du train; cependant, quand il y a inobservance des règlements, le mécanicien partage la responsabilité avec lui. C'est aussi le conducteur qui collecte les billets et le prix du passage des voyageurs montés sans billets.

Dans les stations d'importance moyenne, il y a d'ordinaire deux employés : l' « agent » et l' « operator »; le premier pour le service de jour, le second pour celui de nuit; cependant l'agent est toujours responsable de ce qui se fait; l'un et l'autre sont logés à la station. C'est le serre-frein du train qui fait les aiguilles, celles-ci sont fermées au cadenas en temps ordinaire. Dans les gares importantes, on adjoint à ces deux employés un homme pour la distribution des billets et un autre pour le service des bagages, mais nous sommes loin encore des chefs, sous-chefs de gare, aiguilleurs, hommes d'équipe, etc., des chemins de fer français.

Les *Règles et Régulations* indiquent encore les devoirs des méca-

niciens et chauffeurs, les matières des examens auxquels ils doivent satisfaire, les devoirs des hommes chargés de l'entretien des ponts et de l'inspection des wagons, etc. Enfin il y est indiqué les mesures à prendre en cas d'accident, et il y est fait un terrible tableau de l'existence de ceux qui « font usage des liqueurs alcooliques ».

Les lettres de service de la Compagnie sont transportées dans le wagon à bagages ; elles portent la mention O. C. S. (our Company's service).

Malgré la simplicité de l'exploitation et l'élasticité des règlements, les accidents sont très rares sur le Canadian Pacific Railway; sur la ligne transcontinentale, il n'y a pas eu d'accident mortel de voyageur depuis l'ouverture de la ligne en 1885 (1).

Trafic. — Nous avons deux moyens de nous rendre compte du trafic de la ligne :

D'abord, il suffit de consulter le time-table. Nous y voyons qu'entre Winnipeg et Fort-William, il circule par jour un train de voyageurs et quatre trains de marchandises ; c'est, bien entendu, le trafic maximum, puisque le Trainmaster peut toujours supprimer tel train qu'il désire, lorsqu'il n'y a pas de marchandises à transporter.

Or, un train de voyageurs comprend *(voir fig. 20)* :

1 wagon poste-messageries,
1 fourgon à bagages,
1 ou 2 « colonist sleeping-cars » ou wagons de 2[e] classe.
1 wagon de 1[re] classe,
1 « tourist sleeping-car »,
1 wagon-lit.

(1) A propos des accidents de chemins de fer au Canada, nous relevons dans les statistiques officielles de 1892 les chiffres suivants :

	Tués	Blessés
Voyageurs	14	40
Employés de chemins de fer	110	700
Divers	109	139
TOTAUX	233	879

ce qui représente 1,03 voyageur par million transporté, ou encore 1 voyageur tué sur 966 672 et un blessé sur 338 335. Aux États-Unis, on compte 1 tué par 1 523 000 transportés, mais 1 blessé par 23 845 voyageurs. En France, il y a 1 tué pour 6 millions transportés et 1 blessé pour 1 600 000 transportés.

Quant au trafic des chemins de fer, il y a au Canada 2,8 voyageurs par tête de population, contre 6,3 en France; de même 4,5 tonnes de marchandises transportées contre 2,4 en France.

Nous donnons le plan et l'élévation du « Standard train du Canadian Pacific Railway » tel qu'il est exposé à l'Exposition de Chicago *(fig. 19)*.

Nous verrons plus loin quel est le plan et la capacité de chacun de ces wagons ; pour l'instant, nous constaterons qu'ils représentent une capacité maximum totale de 160 personnes.

Le Canadian Pacific Railway faisant circuler sur la ligne 7 trains en moyenne par semaine, sans compter les trains spéciaux d'émigrants, on peut se faire une idée du trafic des voyageurs sur la ligne ; il représente une moyenne de 50 000 voyageurs par an.

Maintenant si nous consultons le dernier rapport annuel de la Compagnie, nous en extrayons les chiffres suivants :

Il y a eu 3 150 684 passagers transportés sur toutes les lignes de la Compagnie, chacun d'eux a fait un trajet moyen de 105 milles.

Il y a eu 4 058 575 tonnes de marchandises transportées, chacune d'elles ayant fait un trajet moyen de 380 milles. Ces marchandises se répartissent comme suit :

Farine. . . . . Tonnes.	235 542
Grain	724 868
Bétail	95 475
Bois de construction.	896 699
Bois à brûler	232 787
Articles manufacturés	1 020 558
Divers.	852 646
TOTAL.	4 058 575

Les recettes par mille ont été :

Par passager. . . . . 1,7 cent, soit 0,055 *f* par kilomètre.
Par tonne de marchandise. . . . . 0,91 cent, soit 0,03 *f* par kilomètre.

Les recettes par « Train trafic mile » ont été :

	Milles.	Dollars.	Soit par train trafic mille.
	—	—	—
Passagers. . .	5 716 541	6 506 270	$ 1,14
Marchandises .	8 605 829	12 537 765	1,45
ENSEMBLE .	14 322 370	19 044 035 45	1,33
Recettes supplémentaires. Bateaux, télégraphes, etc. .		703 260 20	
TOTAL.		19 747 295 65	1,38

Les dépenses par « Train trafic mille » ont été :

Voie et ouvrages d'art.	\$ 0,18	82 cents.
Traction	0,29	
Matériel roulant	0,05	
Exploitation et frais généraux . . .	0,30	

Donc le bénéfice brut réalisé a été de . . . . . 56 cents.

Les recettes et les dépenses en 1891 ont été les suivantes :

RECETTES			DÉPENSES		
	DOLLARS	FRANCS		DOLLARS	FRANCS
Voyageurs.	5 459 789	28 390 902	Exploitation	3 032 475	15 768 870
Marchandises . . .	12 665 540	65 860 808	Voie et ouvrages d'art	2 519 825	13 143 090
Poste.	516 098	2 683 710	Traction	4 217 975	21 933 470
Messageries	288 633	1 500 892	Matériel roulant . .	704 446	3 663 119
Wagons de luxe .	303 545	1 577 430	Wagons de luxe . .	68 698	357 230
Télégraphe	1 007 480	5 238 943	Steamers des lacs .	165 093	868 483
			Télégraphe.	328 708	1 709 282
			Frais généraux. . .	1 194 214	6 202 913
TOTAUX. . . .	20 241 095	105 243 695	TOTAUX. . . .	12 231 434	63 603 458

Le bénéfice brut a donc été de 41 640 237 *f.*

Sans entrer dans le détail de la partie financière, disons que le bénéfice total net s'élève à la somme de 24 448 320 *f.*

Remarquons que les dépenses représentent 60,43 0/0 des recettes et le bénéfice brut 39,57 0/0 de ces mêmes recettes.

En 1892, les recettes et les dépenses s'établissent comme suit (1):

RECETTES			DÉPENSES		
	DOLLARS	FRANCS		DOLLARS	FRANCS
Voyageurs.	5.509.277	28.923.704	Constr^{on} et entretien	2.509.858	13.176.754
Marchandises . . .	13.091.396	68.729.829	Expl^{on}, tract^{on}, etc.	5.020.091	26.355.477
Poste, mess^{ies}, etc.	2.188.431	12.499.262	Divers et frais gén^{x} .	4.911.177	25.783.679
TOTAUX.	20.789.104	110.152.795	TOTAUX	12.441.126	65.315.910
Recettes par mille .	3.757	»	Dépenses par mille .	2.248	»
Id. par kilom.	»	12.270	Id. par kilom.	»	7.409

(1) D'une façon générale, au Canada, les recettes brutes par « train trafic mile » ont été de 1,16 \$, tandis qu'en France le chiffre correspondant n'est que 0,78 \$; les recettes encaissées par tonne transportée ont été de 1,49 \$ au Canada contre 1,52 \$ en France (tarif de 1889).

Les dépenses représentent donc environ 61,3 0/0 des recettes; ce chiffre est le plus bas de tous les chiffres similaires des autres Compagnies canadiennes où il atteint 72 0/0 au Grand Trunck Ry; 69 0/0 au Quebec Central Ry; 65 0/0 au Canada Atlantic Ry; 68 0/0 au Canada Southern Ry, et enfin 120 0/0 dans les chemins de fer du gouvernement. La moyenne est de 71 0/0.

Tarifs. — La question des tarifs en Amérique est très complexe et très différente de ce qu'elle est en France.

La concurrence entre les diverses lignes force souvent les Compagnies à diminuer le prix des transports en certaines parties de leurs lignes, de telle sorte qu'on constate parfois des différences qui semblent inexplicables au premier abord. En voici un exemple :

Le prix du billet de Fort-William à Vancouver est, *je suppose*, sur le Canadian Pacific Railway de $ 60, mais la ligne des États-Unis, le Great Northern Railroad, annonce que son prix du passage intercontinental de Duluth à Tacoma est de $ 50, les frais de bateau de Fort-William à Duluth et de Tacoma à Vancouver étant à peu près de $ 5; le prix du même trajet par la voie du Great Northern reviendra donc à $ 55. Aussitôt le Canadian Pacific Railway diminue son tarif et le met à $ 57,5, faisant remarquer au public par des annonces que, pour $ 2,50 de plus que son concurrent, il offre l'avantage de faire le trajet sans transbordements. Enfin, le Canadian Pacific Railway abaissera les tarifs des stations à l'est et à l'ouest de Fort-William, pour éviter que les voyageurs de ces stations ne trouvent de même leur avantage à passer par Duluth.

Par cet exemple extrêmement simple, on peut comprendre à combien de modifications, sans raisons apparentes souvent, sont soumis les tarifs. Deux fois par an, les « General passager Agents » et les « General Freight Agents » se réunissent et discutent les modifications à apporter aux tarifs, pour lutter contre la concurrence. Des barèmes établis à cette époque permettent aux employés d'appliquer immédiatement les tarifs.

Une autre raison qui influe sur les tarifs est que, sur une longue ligne comme le Canadian Pacific Railway, les dépenses d'entretien, d'exploitation, de traction, etc., varient assurément suivant les localités. On peut admettre que ces dépenses représentent 2 cents dans le bas Canada, 4 cents dans la région des Lacs, 3 cents dans les prairies et 5 cents dans les montagnes; il

ne faut pas croire qu'on applique la moyenne de ces chiffres, soit 3 1/2 cents, sur toute la longueur de la ligne.

On comprend que le prix du voyage dans chacune de ces divisions sera basé sur le prix de revient respectif de chaque division, mais quand le trajet s'effectuera sur plusieurs divisions, il sera nécessaire d'établir le prix du billet suivant une moyenne convenablement proportionnée.

On peut dire que le prix des billets de 1re classe varie de 3 cents à 5 1/2 cents, ce qui correspond à une moyenne très approximative de 0,14 *f* le kilomètre sur la ligne transcontinentale. La 2e classe et les « Colonists Sleeping-Cars » (ceux-ci n'existent que sur les longues distances, principalement entre Montréal et le Manitoba), jouissent d'un tarif réduit. Pour favoriser l'émigration, le prix entre Montréal et Winnipeg en 2e classe est de 0,05 *f* le kilomètre.

Par ces quelques observations, on voit qu'il est presque impossible de dire que le tarif de la Compagnie du Canadian Pacific Railway est de tant le kilomètre, et il est facile de comprendre à quelles fluctuations sont soumis les tarifs par suite des concurrences, de l'époque de l'année, du sens du voyage, de la ligne considérée, etc.

Les billets d'aller et retour, les billets d'excursion jouissent, comme en France, d'un tarif réduit de 25 0/0.

Les tarifs de marchandises sont aussi soumis aux mêmes lois; cependant le Canadian Pacific Railway admet que le prix brut de transport d'une tonne lui revient à 0,016 *f* le kilomètre. Le prix du transport des marchandises est basé sur un chiffre moyen de 0,035 *f* la tonne kilomètre; cependant, pour favoriser l'immigration, il a été abaissé à 0,025 *f* par wagon complet contenant des bagages, mobilier, outils et animaux d'immigrants.

CHAPITRE III

Locomotives.

Les locomotives américaines se distinguent par un certain nombre de particularités extérieures qui frappent à première vue. Le centre de gravité est très élevé, et, cependant, la stabilité des machines est assez grande pour permettre la circulation des trains marchant à 100 *km* à l'heure, avec des courbes d'un rayon bien inférieur à celui des courbes des grandes lignes européennes.

Par exemple, le State Empire Express fait le trajet entre New-York et Buffalo, à raison d'une marche moyenne de 84 *km* à l'heure, arrêts compris; et les courbes sont facilement franchies, grâce au

truc d'avant qu'on trouve dans toutes les machines. Les cylindres sont placés horizontalement et à l'extérieur du châssis, tandis que la distribution est placée à l'intérieur du châssis; mais, grâce à l'élévation de la chaudière au-dessus des essieux, l'accès des coulisses est très facile. Les bielles motrices sont très longues pour diminuer l'inclinaison sur les manivelles.

Enfin, une des grandes différences avec les machines européennes consiste dans la commodité et le confortable accordés aux hommes qui conduisent la machine; la main-d'œuvre ouvrière en Amérique est bonne en général, mais elle est difficile à contenter. Aussi tous les détails de la construction des locomotives tendent-ils à réduire les manipulations et à simplifier les manœuvres.

Le mécanicien et le chauffeur sont placés au-dessus et sur le côté du foyer, c'est-à-dire très haut au-dessus du rail; ils sont confortablement abrités des intempéries par une cabine munie de glaces sur trois faces et de rideaux de forte toile en arrière; ils ont chacun un banc rembourré avec dossier. La nuit, une lanterne fanal munie d'un grand réflecteur parabolique éclaire la voie au loin et le « chasse-vache » ou « pilote » placé devant la machine est là pour écarter les obstacles des rails.

Le mécanicien effectue le graissage des différents organes sans bouger de son poste; il a sous la main ses différents leviers et robinets, et ceux-ci, grâce à ce qu'ils sont garantis de la pluie et de la poussière, s'entretiennent facilement. Quelquefois on supprime le niveau d'eau à tube pour ne conserver que la série de trois petits robinets; le Canadian Pacific Railway, par mesure de précaution, emploie les deux appareils sur ses machines.

Les machines américaines sont incontestablement très puissantes, et il n'est pas rare de voir un long train de marchandises traîné par une machine à deux essieux moteurs. Il est vrai que la vapeur est produite à pression élevée; ceci a cependant l'inconvénient d'entraîner par la cheminée de nombreuses escarbilles et menus fragments de charbon, mais, pour diminuer les chances d'incendie, on fait de très grandes boîtes à fumée avec cloisons à chicanes. Autrefois, et on a gardé cette disposition dans les machines au bois, on employait la cheminée tronconique, garnie de toiles métalliques.

La puissance des machines américaines réside, en outre, dans la rusticité des organes qui permet de leur faire faire un travail intensif. Il n'est pas rare, aux États-Unis, de voir des Compagnies

acheter leurs machines « toutes faites » dans les grands ateliers, comme ceux de Baldwin, à Philadelphie. Ces machines devront marcher à outrance avec le moins de réparations possible, puis, mises à la ferraille au bout de peu d'années, elles seront remplacées par un type plus nouveau et plus économique.

Le Canadian Pacific Railway n'a pas suivi cette voie ; forcé, au début, d'acheter ses machines aux États-Unis, il n'a pas tardé à reconnaître tout l'avantage qu'il trouverait à construire ses machines lui-même, et, depuis cinq ans qu'il a établi ses ateliers, il ne peut que s'en féliciter. Nous établirons, à la fin de ce chapitre, un prix de revient comparatif qui montre l'économie que la Compagnie de chemin de fer en retire.

Le Canadian Pacific Railway a actuellement près de 190 locomotives en service, dont un quart environ est sorti de ses ateliers de Montréal. Le plan général de ses ateliers est compris de façon qu'il n'y ait aucune fausse manœuvre au cours de la construction: les pièces de forge arrivent toutes préparées à une des extrémités du grand hall de montage et, à l'autre extrémité de ce hall, la locomotive sort achevée pour recevoir son tender et être envoyée à l'atelier de peinture.

L'outillage est assez puissant pour pouvoir suffire, en cas de besoin, à la construction d'une machine complète en cinq semaines. La production moyenne est d'environ 3 à 4 machines par mois.

Les locomotives doivent subir une réparation complète après trois ans de service, ce qui fait qu'on répare, aux ateliers de Montréal, 6 à 8 machines par mois, d'une façon importante ; un nombre égal de locomotives ont à subir de légères réparations, qui sont effectuées pour la partie éloignée de Montréal, dans des ateliers de réparations annexes. A Montréal, les machines à réparer sont disposées dans une rotonde munie de tous les appareils de levage nécessaires, et la réparation s'effectue aussi rapidement que possible, avec grande économie de main-d'œuvre. Le Canadian Pacific Railway fabrique ses chaudières, ses pièces de forge et presque tous ses accessoires. Les roues motrices sont en fer ou en fonte, les petites roues sont en fonte. Dans certaines machines américaines, les roues n'ont pas de bandages ; et sont simplement coulées en coquille ; au Canadian Pacific Railway, les roues de locomotives sont toutes munies de bandages ; ceux-ci viennent de chez Krupp. Les têtes de bielle sont en acier fondu, les essieux en acier forgé, éprouvés à la flexion et au pliage ; ces pièces sont fabriquées en Ecosse.

Dans les tableaux suivants, nous avons réuni les divers renseignements relatifs aux locomotives du Canadian Pacific Railway et à leurs tenders :

Locomotives

TYPES		NOMBRE	DIAMÈTRE ET course des CYLINDRES	EMPATEMENT	DIAMÈTRE DES ROUES		NOMBRE DE ROUES		POIDS		
					MOTRICES	TRUCS	MOTRICES	TOTAL	ADHÉRENT	SUR LE TRUC	EN MARCHE
				mètres							
SB	GV	7	482 × 558	16	1,75	0,92	4	8	30 150	14 629	45 730
SF	—	5	477 × 609	16	1,75	0,92	4	8	30 150	14 629	45 730
SC	—	5	442 × 609	15,7	1,75	0,76	4	8	26 550	13 950	40 500
SM	—	2	508 × 558	16,1	1,90	0,76	6	10	38 800	10 350	48 150
SN	Exp.	6	482 × 609	16,1	1,75	0,76	6	10	38 800	10 350	48 150
SQ	—	5	482 × 609	16,1	1,75	0,76	6	10	38 800	10 350	48 150
SA	Mar.	44	442 × 609	15,7	1,57	0,76	4	8	25 200	13 950	39 150
SH	—	6	477 × 609	15,8	1,57	0,76	4	8	29 250	14 400	43 650
SO	—	10	477 × 609	15,9	1,45	0,71	6	10	36 450	10 800	47 250
SP	—	48	477 × 609	16	1,57	0,71	6	10	36 800	10 800	47 600
SR	—								39 600	10 800	50 400
SD	C	4	482 × 558	16	1,29	0,92	8	10	40 910	5 895	46 800
SG	—	2	482 × 609	16	1,29	0,92	8	10	40 910	5 895	46 800
ST	Mo	28	477 × 609	16	1,45	0,76	6	8	38 700	5 400	40 500
SK	—	2	477 × 609	16,05	1,29	0,76	6	8	39 600	5 400	45 000
SZ	MA	6	477 × 609	12,04	1,29	—	6	6	41 850	—	41 850

ABRÉVIATIONS. — G. V., grande vitesse ; — Exp., express ; — Mar., marchandises ; — C., consolidation ; — Mo., mogol ; — Ma., manœuvres.

Tenders

TYPES DES MACHINES	POIDS à VIDE	CAPACITÉ EN		POIDS en MARCHE	DIAMÈTRE des ROUES
		EAU (hectol.)	CHARB. tonnes	tonnes	mètres
SB, SF. Grande vitesse	14 850	12,7	16	35 100	1,016
SC. —	13 500	12,7	10	35 100	0,838
SM, SN. Express.	14 850	12,7	6	35 100	1,016
SQ. —	15 650	13,6	10	38 250	1,016
SA, SH. Marchandises	13 500	12,7	10	35 100	0,838
SO, SP. —	14 850	12,7	6	35 100	0,838
SR. —	14 850	13,6	10	38 250	0,838
SD, SG. Consolidation	15 650	13,6	10	38 950	0,838
ST, SK. Mogol.	14 850	12,7	6	35 100	0,838
SZ. Manœuvres	12 600	9,4	6	25 650	0,838

NOTA. — Le poids en marche n'est pas égal au poids maximum possible, mais au poids moyen normal en marche.

Nota. — Le type dit « Consolidation » est un type à quatre essieux couplés avec truc d'avant à un seul essieu, c'est le type des machines puissantes à marchandises; il est aussi utilisé dans le passage des Montagnes-Rocheuses par les trains de voyageurs. Le type « Mogol » est à trois essieux couplés avec un truc d'avant à un seul essieu ; il est très employé sur le Canadian Pacific Railway. C'est la vraie machine pour trains mixtes ou trains de voyageurs lourdement chargés.

Le nombre des machines actuellement construites par les ateliers du Canadian Pacific Railway est de 180 (suivant le détail du tableau).

Nous donnons un croquis (*fig. 19*) d'une machine du type SR, dit « 10 wheels standard engine » ; c'est un des meilleurs types de machines puissantes à marchandises et aussi de machines pour trains mixtes relativement rapides. Elle a été construite aux ateliers de Montréal et exposée à Chicago.

Les différents chiffres de la machine sont les suivants :

Poids total de la machine	50 400 *kg*
Poids sur les roues motrices	39 600 *kg*
Poids sur le truc	10 800 *kg*
Nombre de roues motrices	6
Diamètres roues motrices.	1,57 *m*
Diamètre des roues du truc.	0,71 *m*
Nombre des tubes de la chaudière	192
Longueur — —	3,85 *m*
Diamètre — —	0,05 *m*
Diamètre du cylindre et course.	477×609 *mm*
Empatement des roues motrices.	3,88 *m*
— — du truc.	1,85 *m*
Distance de l'axe du truc au premier essieu moteur	2,205 *m*
Empatement de la machine sans tender . . .	7,070 *m*
Empatement total (machine et tender)	15,658 *m*
Longueur de la boîte à fumée.	2,030 *m*
Diamètre — —	1,520 *m*
Distance de l'axe de la cheminée à la plaque d'avant.	1,370 *m*
Diamètre extérieur du corps cylindrique de la Chaudière	1,470 *m*
Diamètre extérieur avec l'enveloppe	1,576 *m*

Hauteur maxima du corps du foyer	2,310 m
Longueur du foyer	2,642 m
Largeur de la grille	0,935 m
Surface de la grille	2,180 m²
Surface de chauffe des tubes	108,440 m²
— du foyer	11,740 m²
— totale.	120,180 m²
Pression de la vapeur	12,650 kg
Dimensions de la cabine du mécanicien . . .	3,20×2,12 m
Hauteur du plancher de la cabine au-dessus du rail	2,000 m
Hauteur totale de la machine.	4,975 m
Longueur totale de la machine et du tender .	18,200 m

Nous nous permettons d'attirer principalement l'attention sur la boîte à fumée, ainsi que la disposition du foyer, l'une disposée pour retenir les escarbilles, et l'autre destinée à brûler des qualités de charbon très différentes.

Nous avons établi, dans le tableau qui figure ci-après, le prix de revient de la machine dont nous venons de parler.

Prix de revient d'une « Standard 10 Wheels Freight Engine ».

Type SR. — Roues en fonte. — Frein Westinghouse.

	Poids en livres	Prix de la livre (1) en cents	Prix total en dollars
Fontes cylindres.	7 123	4	284,92
— ordinaire	22 742	1,65	375,24
Fers forgé et brut	17 855	1,5	267,82
— profilés.	4	2,4	96,00
— tôles.	8 300	2,2	182,60
— tuyaux.	»	»	26,28
— spéciaux et supérieurs	4 621	7,1	328,09
— divers	2 427	2,4	58,25
Aciers fondu.	3 505	8,75	306,68
— forgé.	2 016	9	181,44

(1) Ces prix correspondent aux prix suivants, le kilogramme : Fonte ordinaire, 0,19 *f.* Fonte à cylindres, 0,46 *f.* Fonte pour roues, 0,20 *f.*

Fers profilés et tôles, 0,27 *f.* Fils de fer, 0,34 *f.* Fer de Russie, 1,15 *f.* Acier à ressorts, 0,48 *f.* Acier fondu, 0,98 *f.* Acier tiges de piston, 0,68 *f.* Tôles d'acier pour chaudière, 0,25 *f.* Bandages d'acier, 0,57 *f.* Essieux forgés, 0,55 *f.*

Cuivre rouge et laiton en tôles, 2,30 *f.* Laiton fondu, 2,08 *f.* Plomb, 0,46 *f.* Métal antifriction, 2,40 *f.* Soudure, 2,19 *f.* Cuir, 5,7 *f.* Caoutchouc, 3,10 *f.*

Aciers à glissières	436	8,5	37,06
— tôles	19 556	2,2	430,25
— tubes de chaudières 2 600′.	»	»	347,62
— rivets	1 788	2	35,76
— porte du foyer.	34	2	0,68
Cuivre tôles	14	20	2,80
— tiges, fils, etc.	115	21	24,15
— tuyaux	165	25	41,25
Laiton tubes	31	22	68,20
— tôles, tiges, divers.	75	20	1,50
Plomb	178	4	7,12
Métaux divers.	»	»	32,20
Essieux roues motrices.	3 033	4,79	145,37
— roues du truc	728	4,75	34,58
— roues du tender	1 765	4,75	72,64
Roues motrices, 6 de 62 pouces de diamètre.	12 443	1,75	217,65
— du truc, 4 de 28 —	3 600	2	74,00
— du tender, 8 de 33 —	7 350	2	147,00
Bandages en acier, roues motrices .	5 975	4,94	295,20
Ressorts	3 692	4,10	151,37
Injecteurs.	»	»	124,30
Freins Westinghouse.	»	»	693,30
Divers : manomètres, toile métallique, etc.	»	»	65,90
Caoutchouc, cuir, etc.	»	»	10,91
Briques du foyer.	»	»	98,01
Bois : frêne . . . . le pied.	9 462 (ensemble des bois)	3	7,50
— Cerisier . . . . . . —		7	5,06
— Chêne. . . . . —		3,16	39,51
— Pin. . . . . —		2,77	32,41
— Bois blanc. . . . . —		4,54	21,28
Divers non mentionnés ci-dessus. .	2 934	»	46,20
Poids et prix bruts . . TOTAUX . .	135 600	3,5	4 746,00
Déchets laiton	177	20	35,40
— fer	798	2	15,96
— acier	307	2,2	6,75
— cuivre.	115	20	2,30
TOTAL des déchets, à déduire . .	12 935	»	60,40
Poids et prix nets . . TOTAUX. . .	112 665	»	4 685,60

Prix net des matériaux	$	4 685,60
Outils de mécanicien		150,86
Accessoires divers		125,88
Peinture et vernis		34,59
Charbon		133,76
Main-d'œuvre forge		475,68
— montage		543,82
— ajustage		763,00
— chaudronnerie		853,87
— laiton et étain		61,57
— outillage		5,26
— menuiserie		75,00
— peinture		55,26
— divers		51,80
Total		8 016,89
15 0/0 pour frais généraux et amortissement du matériel		1 202,54
Prix de revient total	$	9 219,43

Le prix de revient total est de $ 9219, ce qui correspond à 46 097 *f*. Le poids étant de 112 665 livres, c'est-à-dire de 50,4 *t*, le prix de revient par tonne ressort à 914,60 *f*.

Quant aux autres types de machines, nous donnons le prix de revient des principaux :

Type S.M. avec frein Westinghouse et roues en fer :
Poids : 48,15 *t*. Prix : 49 500 *f*, soit 1 031 *f* la tonne ;

Type S.A. Locomotives à marchandises, construction ordinaire :
Poids : 39,15 *t*. Prix : 30 000 *f*, soit 769 *f* la tonne ;

Type S.H. Locomotives à marchandises, puissantes, roues en fonte :
Poids : 43,65 *t*. Prix : 41 500 *f*, soit 943 *f* la tonne ;

Type S.Z. Locomotives de manœuvres :
Poids : 41,85 *t*. Prix : 35 000 *f*, soit 836 *f* la tonne.

Le Canadian Pacific Railway, comme nous l'avons dit, a été forcé, au début de son existence, d'acheter des machines dans les grands ateliers de construction. Les machines du type « Mogol », par exemple, achetées aux ateliers de Kingston, Canada, ressortaient à 50 000 *f*.

Les machines du type « Consolidation », 4 essieux couplés,

achetées aux grands ateliers de Baldwin à Philadelphie, ressortent à 53 940 *f*, rendues à Montréal.

Les dimensions de ce type de machine sont :

Diamètre et course des cylindres :	477 × 609 *mm* ;
Diamètre des roues motrices :	1,57 *m*
Poids adhérent	37 125 *kg*
Poids sur le truc.	10 125 *kg*
Poids total.	47 250 *kg*

Cette machine peut tout à fait être comparée au type SH du Canadian Pacific Railway qui est à peu près des mêmes dimensions et du même poids. Le prix de revient de la machine du Canadian Pacific Railway est de 943 *f* la tonne. Celui de la machine Baldwin s'établit ainsi :

Prix d'achat à Philadelphie (840 *f* la tonne).	39 750 *f*
Douane (33 0/0, *ad valorem*)	13 250 *f*
Transport	940 *f*
Total.	53 940 *f*

soit 1 180 *f* la tonne.

On voit donc que le Canadian Pacific Railway construisant ses machines lui-même réalise une économie de 237 *f* par tonne.

Charrues à neige.

Ces appareils, qui rentrent dans le service de la construction des locomotives, offrent au Canada une importance qu'ils n'ont pas chez nous ; nous n'insisterons pas longuement sur ce point, mais nous croyons utile d'en dire quelques mots. Au Canada, la neige commence à couvrir le sol au commencement de novembre, et, jusqu'au dégel, à la fin de mars, il tombe périodiquement d'importantes quantités de neige qu'il est nécessaire d'enlever rapidement et à mesure de la chute, pour empêcher la congélation de ces masses qui obstrueraient complètement les passages.

Nous avons parlé dans le chapitre de « la Voie », des barrières qu'on emploie pour empêcher l'envahissement des voies par la neige chassée par le vent. Nous allons dire quelques mots maintenant des charrues à neige et grattoirs destinés à mettre et à maintenir les voies en bon état pour la circulation des trains.

Les appareils à déblayer les voies sont de deux catégories qui comprennent :

1° *Charrues à neige :* petite charrue de locomotive ;
Charrue indépendante poussée par machine ;
Charrue à ailettes ;
Charrue à neige rotative.

2° *Grattoirs.* — Sur le « pilote » de la locomotive ; — à l'arrière du train ou d'une charrue.

Le type le plus employé dans les charrues placées en avant des locomotives est celui dit en V ; il fournit un bon travail quand la couche est uniforme et ne dépasse pas 0,60 *m*.

Quand on a affaire à des épaisseurs de neige de 1 à 2 *m*, on emploie les charrues indépendantes qui sont poussées par une machine. Ces appareils sont constitués par un soc placé à l'avant d'un wagon ; ce soc est simple ou double suivant qu'il est nécessaire de rejeter la neige d'un côté ou des deux côtés de la voie. Il est formé d'un nez en acier et d'une surface inclinée ou hélicoïdale, formée par des frises de bois dur. Le nez métallique est souvent formé par une sorte de coin qui repose sur les deux rails. La neige est ainsi soulevée au niveau de la voie, tandis que le mouvement en avant lui fait gravir la surface hélicoïdale qui la rejette violemment sur le côté. Le nez métallique peut être manœuvré de l'intérieur, de façon à être relevé au passage des ponts, des aiguilles, etc.

Le Canadian Pacific Railway dont le réseau est en général à simple voie, emploie surtout la charrue à double soc ; la pratique a montré que pour une charrue de 3 *m* de large opérant sur de la neige de 1 *m* d'épaisseur, la portion courbe du soc doit avoir 1,50 m^2 de surface.

Ces charrues sont à nez carré, comme nous l'avons dit plus haut, et de plus sont munies d'ailettes. Celles-ci sont des portes en bois armé de fer destinées à élargir le passage qu'a fait le soc ; elles doivent être plus ou moins ouvertes suivant les endroits traversés et doivent être fermées entièrement en certaines places, comme le passage des ponts, des tunnels, etc. Leur effet utile varie jusqu'à 80 *cm* de chaque côté, ce qui porte le passage total déblayé à 4,60 *m*. Un poste de vigie permet d'observer la voie et de manœuvrer utilement les appareils. L'inconvénient de ces machines, qui rendent de grands services, résulte de ceci, que, devant être

poussées à une assez grande vitesse, il arrive souvent des accidents de déraillement, bris d'ailettes, etc.

Le Canadian Pacific Railway compose ses « trains-charrues » de la charrue proprement dite, de la locomotive et d'un wagon contenant des outils et des hommes pour parer à toutes éventualités; lorsqu'on est au milieu d'une tempête de neige, on ajoute souvent une deuxième locomotive en queue. Cette machine est tournée, le soc en arrière, de façon à pouvoir ouvrir un passage de retraite en cas d'insuccès. Dans les contrées où l'on a à craindre, outre la neige qui tombe du ciel, celle qui glisse des montagnes, il est nécessaire d'employer des machines à très grande production, les charrues à neige rotatives.

Celles-ci sont essentiellement constituées par un système circulaire hélicoïdal ou à ailettes qui est animé d'un mouvement rapide de rotation, au moyen d'une machine fixe puissante placée à l'intérieur du wagon-charrue.

Le Canadian Pacific Railway emploie le type dit « Rotary » et le construit lui-même dans ses ateliers. Cette machine comprend un grand plateau de 3,30 *m* de diamètre tournant avec une vitesse variant suivant les cas. Au centre du plateau, un système de pointes fait une sorte d'avant-trou dans la neige, puis une série de lames coupantes inclinées disposées suivant les rayons, vient entamer celle-ci quelque dure qu'elle soit; coupée par une des séries de couteaux, elle tombe dans des cases en acier de forme conique, qui par la force centrifuge, la rejettent à la circonférence, d'où elle s'échappe à la partie supérieure sous forme d'une grande parabole.

Dans le premier type de machine, la roue elle-même était légèrement concave et tournait dans un cadre carré en acier. On a employé depuis une disposition un peu différente en donnant une forme convexe à l'ensemble de la roue tournante, qui permet ainsi une pénétration progressive dans la masse souvent très dure de la neige.

La machine est réversible, et, à cet effet, les couteaux disposés en deux séries, deux par deux, prennent automatiquement la position convenable suivant le sens de la marche de la machine.

L'échappement de la neige est réglé en direction et en distance, au moyen d'un registre spécial, de façon à envoyer la neige à droite et à gauche à une distance de la voie variable à volonté; on comprend que, la voie passant d'un côté et de l'autre de la montagne, il est nécessaire de rejeter la neige toujours du côté de

la vallée. Lorsque la voie est double, la neige peut être envoyée par-dessus la voie déjà nettoyée.

La machine est du type locomotive avec des cylindres ayant 17 × 22 pouces, la chaudière horizontale tubulaire système Belpar.

La « Rotary » est munie du frein Westinghouse et porte entre ses deux trucs deux sortes de grattoirs; un premier en acier très dur, pour enlever la glace sur la surface du rail, et un autre plus important sert à dégager le côté intérieur de chaque rail comme nous le verrons plus loin.

Les dépenses d'exploitation de la « Rotary » comprennent celles qui proviennent de cette machine proprement dite et de celles qui résultent du travail des locomotives qui la poussent.

Voici en moyenne ces dépenses par mille :

Main-d'œuvre	$	0,107
Combustible		0,041
Divers		0,0145
Entretien		0,0065
Prix par mille	$	0,1690

soit 0,55 *f* par kilomètre.

Prix total par mille, y compris la locomotive : 0,335 $, soit 1,09 *f* par kilomètre.

Au 1er avril 1893, les machines « Rotary » avaient déblayé les voies sur une distance de 67 319 milles.

Grattoirs. — Par suite de brusques changements de température, il arrive souvent que la neige s'accumule en masses assez dures, pour soulever le boudin des roues et faire sortir celles-ci de la voie; il importe donc de venir enlever la neige glacée dans la partie intérieure de la voie contre le rail. Cette opération s'effectue au moyen de grattoirs en forme de socs de charrue.

Ces appareils sont disposés à la partie arrière des charrues à neige ou simplement installées sur un wagon qui s'attelle à un train de marchandises; il est nécessaire de pouvoir relever rapidement ces socs au passage des obstacles; cette manœuvre s'effectue au moyen d'un levier en bois avec contrepoids qu'on manœuvre de l'intérieur du wagon.

Une autre sorte de grattoirs est aussi disposée sur les locomotives; lorsque la neige tombe sur un rail très froid, il arrive qu'il y a adhérence et formation de glace. De plus, comme une faible épaisseur de neige, même 5 *cm*, empêche les locomotives d'avan-

cer, il est nécessaire, lorsque les trains circulent pendant la chute de la neige, de venir enlever celle-ci du rail pour permettre la traction. A cet effet, les locomotives portent sur leur pilote — ou chasse-neige, — deux grattoirs formés de lames inclinées par rapport aux rails, qui peuvent reposer sur ceux-ci à la volonté du mécanicien au moyen d'un levier de manœuvre. Grâce à ces précautions, la traction se fait sans interruption et il est très rare d'être obligé d'employer la main-d'œuvre pour débloquer les trains.

Nous avons dit, plus haut, quel était le travail des charrues à neige pour une voie unique; nous voulons ajouter quelques renseignements quand on a affaire à des lignes à double voie.

On s'est d'abord servi, il y a quelques années, de charrues à nez mobile rejetant la neige à droite ou à gauche, à volonté, qu'on faisait circuler consécutivement sur l'une et l'autre voie, mais ce système a le grave inconvénient de laisser encombré l'espace entre les voies. On préfère maintenant employer deux trains-charrues. Il faut d'abord considérer la direction du vent; supposons la section intercontinentale du Canadian Pacific Railway, qui va de l'est à l'ouest : le vent souffle du nord; de l'extrémité ouest de la section, on envoie un train-charrue sur la voie de gauche (nord); la charrue sera du type à nez carré ordinaire avec ailettes. Elle ouvrira donc un passage de 4,60 *m* de largeur rejetant sur la voie sud une partie de la neige. Ce premier train sera suivi sur la deuxième voie par un second train-charrue qui sera composé d'une charrue à simple soc rejetant la neige à droite, c'est-à-dire au sud, et ouvrira son ailette de ce côté pour élargir le passage réglementairement.

En terminant, il faut noter qu'il y a moins de neige sur le Canadian Pacific Railway que sur les lignes situées plus au sud, parce que les tombées de neige sont moins fréquentes. Le sol reste gelé plus longtemps, il est vrai, mais ceci ne nuit en rien au service, et, sauf des cas exceptionnels, la marche des trains est peu troublée par cet état de choses qu'on sait si bien combattre au Canada.

CHAPITRE IV

Wagons.

Environ 1 700 wagons sont actuellement en service sur le Canadian Pacific Railway, sur lesquels près de 500 à voyageurs; une grande partie est sortie des ateliers de la Compagnie, à Montréal, mais les autres datent du début de la ligne et ont été achetés aux

États-Unis à des constructeurs de wagons ou à d'autres Compagnies de chemins de fer.

Les dimensions des wagons de voyageurs sont en largeur 3,05 *m*; quant à la longueur, elle est assez variable : tandis que les sleeping-cars ont une longueur variant entre 19 *m* et 21 *m*, les wagons ordinaires ont en moyenne 17 *m* et les wagons à marchandises, n'ont pas plus de 10 *m* en général. Quelle que soit leur longueur, les wagons sont montés sur deux trucs qui leur permettent le passage des courbes.

La capacité varie aussi suivant la classe : les sleepings ne peuvent guère contenir qu'une cinquantaine de personnes au maximum, et n'ont souvent pas plus de trente lits; les wagons de première classe ordinaires transportent 56 personnes; les deuxièmes classes ou « colonists sleeping-cars », 64 personnes. Il n'y a pas de troisièmes classes.

Nous donnons quelques plans des principaux wagons du Canadian Pacific Railway *(fig. 20)*. Il y a un certain nombre de types qui ne diffèrent que par des détails infimes ou par les dimensions. Nous avons choisi les types les plus usités.

Première classe. — Ce type de wagon de première classe dont un grand nombre est en service, comprend un compartiment central de 44 places et deux petits compartiments extrêmes de 6 places chacun; entre eux, d'un côté, on trouve un urinoir, W.-C. et une toilette; à l'autre extrémité, un W. C. pour dames et l'appareil de chauffage. L'inconvénient de ce plan est qu'on réserve le compartiment d'arrière pour les fumeurs, et que celui d'avant se trouve en général, complètement déserté, surtout en hiver.

Deuxième classe. « Colonist Sleeping-Car ». — Comprend 64 places réparties en deux compartiments : le principal de 48 places et le fumoir avec 16 places. Les banquettes, faites en lattes de bois, peuvent se réunir et former un lit assez large pour deux personnes et on descend du plafond une couchette analogue à la précédente; à une des extrémités est le poêle et l'urinoir W.-C., de l'autre une toilette et un W.-C. pour dames. Les deuxièmes classes ordinaires diffèrent en ce qu'elles n'ont pas « d'accommodation pour dormir ».

Bagage. — Se compose d'un seul grand compartiment au milieu duquel se trouve un calorifère, une table, une armoire et une fontaine pour le « bagageman ». Dans le type que nous donnons

et qui est celui d'un des wagons faisant le service entre Halifax et Montréal, le plan est un peu plus complexe; cette ligne, traversant une partie de l'État du Maine aux États-Unis, on a été forcé d'établir un compartiment spécial fermé, dans lequel on enferme les bagages sous seing de la douane pendant le passage à travers les États-Unis. A l'autre extrémité du wagon, on a ménagé deux grands emplacements destinés à apporter des provisions dans la glace.

Ces wagons effectuent aussi le transport des colis d' « express », c'est-à-dire, messageries, colis postaux et transport de fonds.

Wagon-Poste. — Nous donnons le plan d'un wagon-poste qui contient un compartiment pour les colis d'express. Il est fait pour les longs trajets et contient des couchettes pour les employés.

Dining-Car. — Le wagon-restaurant comprend à une extrémité, la cuisine, le réfrigérant à glace, l'office. La salle à manger contient cinq tables à quatre places, et cinq à deux places, soit trente places. A l'autre extrémité du wagon se trouvent un lavabo, l'appareil de chauffage, des armoires à linge et à vin.

Wagon-Salon. — Comprend dix-huit fauteuils, plus des sophas. A une des extrémités, est un compartiment réservé avec deux fauteuils et un sopha, à l'autre un fumoir avec deux sophas. Les fauteuils sont des fauteuils mobiles en osier qui permettent d'admirer le paysage par les larges fenêtres disposées à cet effet.

Sleeping-Car. — Nous donnons le plan d'un des plus grands wagons-lits du Canadian Pacific Railway. Le nom du wagon-type de cette sorte est « Pekin ». Il comprend vingt-sept lits. A une extrémité, on trouve le W.-C. et lavabo des dames, l'appareil de chauffage, des armoires et un réduit pour les petits bagages des voyageurs. A l'autre extrémité, le « State-Room » ou compartiment réservé avec trois lits, puis, tout à fait à l'arrière, le fumoir avec W.-C., lavabo et salle de bains.

Wagon-Cuisine. — Le wagon-cuisine a été créé en 1885 pour les trains transportant les troupes au moment de la révolte des Métis du nord-ouest. Il ne trouve son emploi que dans des circonstances exceptionnelles.

Les différentes dimensions des wagons sont les suivantes :

Première classe .	56 personnes, longueur :	57′2″	—	17,40 *m*
Deuxième classe.	64 —	— 57′2″	—	17,40 *m*
Bagage	»	— 56′0″	—	17,10 *m*
Poste.	»	— 56′0″	—	17,10 *m*
Restaurant . . .	30 personnes	— 62′5″	—	19,00 *m*
Salon.	20 fauteuils	— 66′0″	—	20,15 *m*
Wagon-lit. . . .	27 lits	— 68′5″	—	20,90 *m*
Cuisine.	»	— 56′0″	—	17,10 *m*

Les wagons-lits ou wagons-salons sont établis d'une façon spéciale, en raison de leur grande longueur; ils sont dans le type le plus récent, construits avec deux cloisons en arcades, ayant pour but de répartir les efforts sur la longueur totale des wagons; ces cloisons à jour sont en même temps le prétexte d'une élégante ornementation.

Les ateliers de construction des wagons sont situés à Hochelaga, faubourg de Montréal. L'atelier de montage a la forme d'une rotonde à locomotives, desservie au centre par un grand pont tournant de 30 *m* de diamètre. Il y a 35 places pour la construction des wagons et un passage pour la voie de sortie.

Le bois employé est le pin de Douglas, ou arbre à fourrure, qui est amené de la Colombie anglaise par grands morceaux de 23,5 *m* de long. Les bois de luxe viennent de New-York, où se trouve le marché de ces bois.

Le temps employé à la construction des wagons varie suivant le type de ceux-ci : il faut quatre mois pour un wagon-lit; trois mois pour un wagon à voyageurs ordinaire, et deux mois pour un wagon à bagage ou un wagon-poste. Quant aux wagons à marchandises, ils sont de trois types principaux : wagon plate-forme, wagons fermés et wagons pour le transport des animaux.

Les prix de revient des wagons à Montréal sont les suivants :

	Poids.	Prix.
Wagon-lit.	85 000 *kg*	$ 18 000 (1)
Première classe	62 000	5 000
Deuxième classe	57 000	4 600
Bagages.	55 000	3 200
Marchandises (fermés) . . .	24 000	535
— plate-forme . .	18 800	435

(1) Ces chiffres ne sont que des moyennes, les prix variant avec le luxe de l'installation.

Le nombre des ouvriers employés aux ateliers d'Hochelapa est de 750, sur lesquels plus des trois cinquièmes sont des Canadiens-Français. Le prix moyen de la main-d'œuvre est $ 1,75, soit 8,75 *f* par jour.

CANADIAN PACIFIC RAILWAY
DIAGRAMME D

Sleeping car ....
à quitté ....
.... le .... 189 ....
arrivée à ....
.... le .... 189 ....
.... *Conducteur ou Porter.*

Armoire | Numéro d'ordre | *Chauffage*
Toilette Dames | *Water Closets Dames*
H / B 2 — 1 H / B
Billets de Transfer
H / B 4 — 3 H / B
H / B Sopha 6 — 5 Sopha H / B
H / B Sopha 8 — 7 Sopha H / B
H / B 10 — 9 H / B
Billets de Bains
H / B 12 — 11 H / B
Armoire
Sopha *Compartiment Salon* H / B
Toilette | *Bains et Toilette*
Water Closets Messieurs | Nombre de Voyageurs | *Lavabo*
Armoire | *Fumoir*
Sopha | Comptant .... Billets .... Total .... | Sopha

Nota. *Au verso le ticket indique par chaque voyageur le trajet effectué, le nombre de milles correspondant au trajet, le prix et les noms des Sleeping cars du modèle de ce diagramme.*

Avant d'entrer dans le détail de la construction des wagons, nous voulons dire un mot de l'organisation des wagons de luxe : parlor, dining et sleeping-cars.

Aux États-Unis, ce service est d'ordinaire confié à des grandes Compagnies, Pullman ou Wagner. Les chemins de fer leur donnent le droit d'accrocher leurs wagons à leurs propres trains et chacun y trouve ainsi son avantage; la Compagnie de chemin de fer qui a ses voyageurs transportés sur un matériel autre que le sien, la Compagnie des sleeping-cars qui a la traction gratuite et qui perçoit un droit supplémentaire sur les voyageurs.

Le Canadian Pacific Railway n'a pas adopté cette combinaison; comme nous l'avons vu plus haut, il construit ses sleeping-cars lui-même et en effectue aussi par lui-même l'exploitation.

Le service de chaque sleeping-car est fait par un « porter » nègre sous la surveillance du conducteur du train; le porter doit percevoir le supplément chez les voyageurs montant sans billets (1); il remplit à

(1) On ne délivre des billets de « sleeping-car » que dans les grandes villes, mais on peut toujours se faire réserver un lit par télégraphe.

chaque voyage un diagramme analogue au modèle ci-joint où chaque lit occupé est marqué, et où sont, en outre, indiqués les suppléments de bains, les « transfers » (changements de wagon, correspondance), etc.

Les dining-cars dépendent de la même organisation. Chaque car fait la navette entre deux points de la ligne, et le service est fait de telle sorte que le dining-car ne roule pas la nuit; il est accroché le matin au train montant qu'il quitte le soir, pour prendre un train descendant le lendemain matin. Comme il y a un train par jour dans chaque sens, il y a un dining-car pour environ 400 *km*. Le personnel des dining-cars comprend : un maître d'hôtel, deux garçons, un cuisinier et un aide; le prix des repas est uniformément fixé à 75 cents.

Les wagons de luxe portent en général un nom; les sleeping-cars, le nom d'une ville : Montréal, Tokio, Sydney; les restaurants, le nom d'un château célèbre d'Europe : Windsor, Versailles, Saint-Cloud, etc.

Outre les sleeping-cars de luxe, le Canadian Pacific Railway offre encore aux voyageurs deux classes de wagons-lits :

1° Tourist-cars, qui possèdent tous les avantages des sleeping-cars de luxe : lits avec rideaux, porters, etc., mais qui sont beaucoup moins luxueux; dans ces wagons, une petite cuisine permet aux voyageurs de faire chauffer leurs repas. Ce service, qui commence seulement à s'organiser, n'a encore lieu que sur les grandes lignes : Montréal-Chicago, Montréal-Winnipeg. Il n'est pas délivré de billet pour les courts trajets, et il arrive souvent que le trajet s'effectue par wagon complet ;

2° Le colonist sleeping-car dont nous avons parlé est le wagon de 2e classe qui ne circule que sur les longs trajets. Il est agencé pour permettre le couchage des voyageurs, mais la literie n'est pas fournie.

Le tarif des parlor, sleeping et tourist-cars varie avec la distance parcourue; le minimum de perception est de 50 cents, qui correspond à peu près à un trajet de deux heures en parlor-car.

Cependant on peut dire que le prix du sleeping est de $ 3 par vingt-quatre heures de trajet. Or, comme on fait en moyenne 550 milles par vingt-quatre heures, soit 880 *km*, le prix est d'environ 0,015 *f* à 0,02 *f* le kilomètre. Le prix du tourist-car représente environ le quart du prix ci-dessus. Nous donnons ici quelques prix sur le Canadian Pacific Railway.

Sleeping-cars.	Montréal à Halifax	$ 4 »	à Ottava . .	$ 2 »
	— Toronto .	2 »	Fort-William.	6 »
	— Détroit .	3,50	Winnipeg . .	8 »
	— Chicago .	5 »	Vancouver. .	20 »
Tourist-cars.	Montréal à Boston .	0,50	à Winnipeg . .	2,50
	— Détroit .	0,75	Vancouver. .	5 »
	— Chicago .	1,25		

Les prix sur le Saint-Paul, Minneapolis et Sault Sainte-Marie Railroads, ligne américaine en connection avec le Canadian Pacific, sont les suivants :

1° *Parlor-cars* jusqu'à 65 milles	$ 0,25
— 260 —	1,00
— 520 —	2,00
2° *Sleeping-cars* jusqu'à 315 —	1,50
— 415 —	2,00
— 515 —	2,50

On voit, par les quelques chiffres précédents, combien les wagons-lits sont bon marché en Amérique, et combien, par suite, ils sont entrés dans les mœurs du pays. Ne serait-il pas à souhaiter de voir les tarifs de la Compagnie des wagons-lits européens devenir plus abordables?

Voici comment se décompose la liste des wagons du Canadian Pacific Railway :

Wagons à voyageurs, 1re classe.	183
— — 2e classe	159
Sleepings-cars, restaurants et salons	118
Bagages, postes et messageries	177
Wagons particuliers	28
Marchandises et bestiaux	11 903
Fourgons pour trains de marchandises, etc..	300
Wagons plate-forme..	3 331
Wagons à charbons, etc.	471
TOTAL. . . .	16 670

Nous allons entrer maintenant dans quelques détails de la construction en ce qui concerne deux points importants des wagons américains :

1° Roues et trucs de wagons;
2° Système d'accouplement.

Roues et trucs. — Comme nous l'avons déjà dit, le système des wagons du Canadian Pacific Railway est exclusivement celui dit « à boggies ». Il comprend deux trucs, chacun étant placé à l'extrémité du wagon.

Ces trucs sont de trois sortes :

1° Trucs pour wagons de luxe ;
2° Trucs pour wagons à voyageurs ;
3° Trucs pour wagons à marchandises ou à ballast.

La première de ces catégories comprend des trucs à trois essieux ; les deux dernières, des trucs à deux essieux.

Les trucs des wagons à voyageurs sont composés d'un bâti solide en madriers, de 4"×6", munis d'armatures en fer ou en fonte réunies par des boulons ; au centre est fixée la cheville ouvrière qui s'engage au-dessous du wagon. Les roues, en général, ont 1 *m* de diamètre, et sont montées sur des axes de 108 *mm* de diamètre. L'empatement occupé par un truc de six roues, est de 3 *m* × 2,20 environ. Les roues reposent sur le truc proprement dit au moyen d'un double système de ressorts : ressorts à boudins directement placés sur les boites à graisse, et ressorts à lames, dans le sens de la largeur, pour compléter l'action des premiers. Grâce à cette suspension double et aux six roues, le passage des joints des rails est très peu sensible, puisqu'il y a toujours deux points d'appui sur le même rail. Quant aux trucs de marchandises, ils n'ont qu'un seul système de suspension par ressort à boudin, et sont d'une construction solide, mais ordinaire.

Les roues sont, en général, en fonte ; pour les wagons à marchandises, elles sont mises au service brutes de fonte ; pour les trucs de tenders, les petites roues de la locomotive, et les trucs de wagons à voyageurs, elles sont en fonte ou en fer, mais toujours tournées ou munies d'un bandage en acier. Le Canadian Pacific Railway a essayé les roues en papier comprimé, mais l'adoption n'en a pas été faite. Il tend, au contraire, à remplacer ses roues de fonte par des roues en fer forgé.

Les roues en fonte sont fabriquées à Montréal dans les ateliers de construction des wagons. La composition exacte du métal est tenue secrète, mais les qualités de fonte employée sont les suivantes : fonte au bois, fonte du lac Supérieur (très pure), fonte de Salisbury. Il ne nous a pas semblé qu'on incorporait un peu d'acier dans le métal fondu, comme nous l'avions vu faire aux Etats-Unis. La composition ci-dessus est celle du métal neuf ; on

en emploie seulement 40 0/0, les 60 0/0 restants étant constitués par des débris de vieilles roues.

Les roues qui doivent être mises en service brutes de fonte sont fondues dans des moules mixtes; la périphérie du moule est formée par une coquille en fonte, disposée pour obtenir un rapide refroidissement par circulation d'air, c'est ce qui permet d'obtenir une dureté suffisante de la fonte; le centre du moule est fait en sable jaunè assez maigre, la roue porte au centre une série de nervures disposées en hélice.

Quand la roue est destinée à des wagons à marchandises, elle est mise en service telle qu'elle est démoulée, et c'est le roulement qui est seul chargé de régulariser sa circonférence. Quand la roue en fonte doit être employée sans bandage également, mais dans la construction des locomotives ou des tenders, on tourne la portion de roulement au moyen d'un système de meules en émeri, les outils en acier ne faisant pas un travail suffisant avec la fonte trempée.

Enfin, quand les roues doivent être employées pour des wagons à voyageurs, on les munit toujours d'un bandage en acier. Celui-ci est fabriqué chez Krupp, en Allemagne. Il est fixé sur la partie en fonte de la roue au moyen de deux plaques circulaires maintenues par des boulons *(fig. 21)*.

Les diamètres des roues sont, pour les dimensions les plus employées : 0,706 *m*, 0,760 *m* et 0,838 *m*.

Pour terminer ce qui a rapport aux roues, disons que les roues de locomotive sont en fer ou en fonte ; dans le premier cas, ce sont des pièces de forge qui ne sont différentes des pièces similaires françaises que tout à l'honneur de celles-ci; pour les roues en fonte, elles sont fondues avec la jante et les raies creuses, mais leur usage tend à disparaître pour n'employer exclusivement que les roues forgées, comme cela se pratique en France.

Systèmes d'accouplement. — Le Canadian Pacific Railway emploie trois systèmes d'accouplement; aucun d'eux ne comporte l'emploi de tampons :

1° Le système primitif, formé d'un maillon allongé en acier forgé s'engageant dans le tampon central du wagon, la traction s'opérant au moyen d'une forte goupille dans chacun des tampons. Ce système, qui a l'inconvénient de n'offrir aucune élasticité au démarrage, a, de plus, celui d'être très dangereux pour les hommes qui doivent enfoncer la goupille. Il est cependant encore

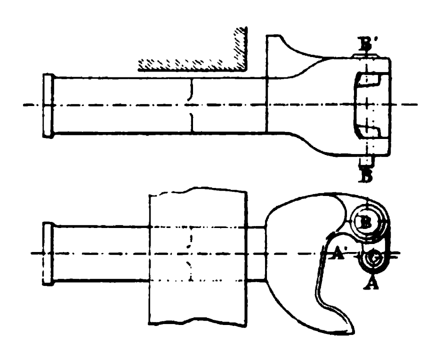
employé dans un grand nombre de wagons du Canadian Pacific Railway.

2° Un système plus perfectionné consiste dans l'emploi du crochet automatique *(fig. 22)*; il est surtout appliqué aux wagons à voyageurs. Lorsque deux crochets semblables se présentent l'un en face de l'autre, chacun d'eux forme ressort, et les deux encoches viennent entrer l'une dans l'autre. Quant au désaccouplement, il s'effectue au moyen d'un levier manœuvrable de la plate-forme du wagon.

Outre que cette manœuvre du levier est très dure, s'il y a un peu de rouille, il est arrivé en Amérique que, les diverses Compagnies n'ayant pas fait leurs crochets identiques, l'accouplement ne pouvait s'effectuer; on est obligé de ménager une cavité et un trou dans la tête du crochet pour rendre possible l'accouplement avec des wagons d'autres Compagnies, au moyen du maillon dont nous avons parlé plus haut.

3° Dans une convention générale des constructeurs de wagons américains, il y a quelques années, il a été décidé de choisir un « Standar car coupler » *(fig. 23)*, c'est-à-dire qu'on a déterminé un profil-type de crochet d'attache qui permette d'accoupler n'importe quels wagons entre eux. Nous donnons ci-inclus le profil choisi avec ses cotes; nous donnons aussi un dessin de l'ensemble de la barre d'attelage avec les dimensions principales. On voit qu'avec ce système, le déplacement des deux pièces l'une par rapport à l'autre, dans le sens vertical, est possible. On a laissé la liberté aux constructeurs de créer des systèmes différents, pourvu que le profil choisi soit respecté.

Le principe consiste à avoir un crochet dont la partie A, qui peut



pivoter en B, vient exactement s'adapter dans la partie A' du crochet voisin; un système de came en acier, analogue à un loquet

de porte, permet de faire l'accrochement automatique, tandis qu'un levier facilement manœuvrable ouvre le loquet, permet à la partie A de pivoter librement autour de B, et, par conséquent, à la partie en A′ de venir en arrière. Un trou est ménagé en C pour permettre l'accouplement au moyen d'un maillon, comme nous l'avons vu ci-dessus.

Cette réglementation des attaches a donné naissance, aux États-Unis, à un grand nombre de dispositifs brevetés, au sujet desquels une longue pratique permettra seule de juger de la valeur des inventions.

Le Canadian Pacific Railway a commencé à installer ce système d'attaches sur ses wagons de luxe qui circulent entre Montréal et les États-Unis, et peu à peu appliquera cette disposition à tous ses wagons.

Nous donnons le dessin d'un système de connection pour wagons-vestibules, c'est-à-dire munis de soufflets entre les wagons. La communication entre les plates-formes est assurée au moyen de deux larges tampons maintenus l'un contre l'autre par des ressorts. Au centre, un fort ressort amortit le choc au moment de l'accouplement, et de chaque côté des ressorts plus petits permettent le passage des courbes *(fig. 24)*.

Ce système de wagons vestibulés tend de plus en plus à être appliqué dans les wagons de luxe; grâce à lui, on n'a pas à craindre la poussière, le vent, le froid, au moment où l'on ouvre la porte des wagons, et dans ces conditions le passage s'effectue en toute sécurité. Il faut, du reste, reconnaître qu'il y a déjà longtemps que le système des soufflets est appliqué en France aux wagons-poste, et que son usage commence à se répandre pour les wagons à voyageurs.

CHAPITRE V

Colonisation. — Hôtels, etc.

Pourquoi émigrer au Canada? Tel est le titre d'une brochure que vient de faire paraître le Canadian Pacific Railway, pour répandre parmi les populations de langue française de l'Europe. A cette question, l'auteur de la brochure répond... en Normand :

« Pourquoi demeurer dans la vieille Europe chargée d'impôts et de population? Pourquoi végéter sur de petits morceaux de terres qui suffisent à peine à nourrir misérablement ceux qui les

cultivent? Pourquoi rester plus longtemps à travailler sur des fermes qui ne vous appartiendront jamais, lorsqu'il vous suffit de venir au Canada pour devenir propriétaire, et absolument pour rien, de 64 *ha* d'une terre vierge sans pareille, produisant sans engrais, de 25 à 40 *hl* de blé à l'hectare? »

La Compagnie, en effet, avait reçu du Gouvernement 25 millions d'acres de terre; à la suite de divers arrangements, elle a possédé 20 509 386 acres (8 000 000 d'hectares). Le 1[er] janvier 1892 elle avait vendu 3 797 778 acres, et il lui reste encore à vendre 16 711 500 acres.

La brochure que nous mentionnons ci-dessus donne de longs détails qui peuvent constituer le *Guide du colon au Canada*. Nous nous contenterons d'en donner un abrégé très succinct.

L'émigrant doit arriver au mois de mars afin de pouvoir obtenir une récolte dès la première année. A Montréal, il passe directement des bateaux dans les wagons dits « colonist cars » qui sont attelés aux trains express et qui offrent, comme nous l'avons vu, un confortable presque analogue aux premières classes. L'émigrant doit fournir sa literie, mais il peut pour $ 2,5 acheter le nécessaire à l'agent de la Compagnie qui est chargé de ce service. Le prix pour se rendre au Manitoba est de $ 22,4, ce qui correspond, comme nous l'avons vu déjà à 0,05 *f* ou 0,06 *f* le kilomètre. Chaque billet donne droit à 150 *kg* de bagages. De plus, le transport par wagon de 10 *t* des effets mobiliers et des instruments agricoles est, jusqu'à Winnipeg, de 550 *f*, soit 0,219 *f* le kilomètre. Dans cette catégorie de wagons à bagages d'émigrants, on permet 10 têtes de bétail et 2 500 pieds mesures de planches de bois de construction. Le passage gratuit est donné à l'homme qui est chargé de soigner les bêtes. On voit que toutes facilités sont données pour aider à l'immigration.

Lorsqu'il arrive sur les terres de culture, l'émigrant est reçu par des agents de la Compagnie, et quelques jours suffisent au choix des terres afin de permettre de commencer le plus rapidement possible l'installation et la culture.

Les provinces de colonisation sont :

Le Manitoba, excellent pour les céréales et la culture mixte : celle-ci comprend une partie des terres en céréales, et l'autre en prairies naturelles pour l'industrie laitière. Un assez grand nombre de beurreries-fromageries à vapeur sont déjà en opération. La manutention des céréales est faite à chaque gare importante par

des élévateurs à grains qui permettent le chargement en vrac dans les wagons.

L'Assiniboïa, dans laquelle, outre la culture des céréales, on fait l'élevage en grand des moutons.

L'Alberta, renommé pour l'élevage des bestiaux et des chevaux dans les prairies naturelles sur le versant est des montagnes.

Le Saskatchewan, qui comprend la vallée de la rivière de ce nom, dans laquelle on cultive avec succès les céréales, sans compter l'exploitation forestière et les industries minières qui sont appelées à y prendre un grand développement.

L'immense territoire que forment ces quatre provinces, s'étend au 49e parallèle, frontière des États-Unis, jusqu'à la baie d'Hudson et depuis le 97e méridien O. de Greenwich jusqu'aux Montagnes-Rocheuses; il est divisé en cinq grandes sections, par les 106e, 102e et 110e méridiens. L'espace compris entre deux méridiens comprend environ 30 cantons ou « Townships », ayant 93 *km* carrés. Le canton est divisé en 36 sections qui, elles-mêmes sont divisées en quart de sections de 64 *ha*.

Un chemin de 20 à 30 mètres de large, suivant la province, est réservé autour de chaque section, et dans chaque canton, deux sections sont réservées pour les écoles.

Les terrains que peut obtenir le colon sont de deux sortes :

1° Les terres gratuites du Gouvernement « Homestead » qui sont données par un quart de sections (64 *ha*) moyennant la somme de $ 10, à tout homme âgé de plus de dix-huit ans et aux veuves ayant des enfants. Le colon est tenu de construire une maison habitable et de commencer la culture dans les six mois. Pendant la première année, il devra labourer et ensemencer au moins quatre hectares de terre; la deuxième, récolter les quatre hectares et en labourer six autres; la troisième année, récolter ses dix hectares et en ensemencer six autres : c'est alors seulement qu'il reçoit son titre de propriété.

2° Les terres appartenant à des Compagnies, et principalement au Canadian Pacific Railway, qui sont situées dans la zone immédiate du chemin de fer. Dans ces régions, les cantons sont divisés d'après le diagramme suivant :

160 acres
64 hectares

NORD

		32 Gouv.	33 C. P. R	34 Gouv.	35 C. P. R.
36 Gouv.					
30 Gouv.	29 Ecole	28 Gouv.	27 C. P. R.	26 B. H.	25 C. P. R.
19 C. P. R.	20 Gouv.	21 C. P. R.	22 Gouv.	23 C. P. R.	24 Gouv.
18 Gouv.	17 C. P. R.	16 Gouv.	15 C. P. R.	14 Gouv.	13 C. P. R.
7 C. P. R.	8 B. H.	9 C. P. R.	10 Gouv.	11 Ecole	12 Gouv.
6 Gouv.	5 C. P. R.	4 Gouv.	3 C. P. R.	2 Gouv.	1 C. P. R.

OUEST — EST

SUD

Superficie du Canton, 36 milles carrés, 93 kilomètres carrés.
Superficie de chaque section, 1 mille carré, 259 hectares.

Le prix du terrain varie suivant la province; en moyenne il est de :

$4,50 l'acre dans le Manitoba soit 58 *f* l'hectare
3,50 — l'Assiniboïa — 45 —
3 » — l'Alberta — 39 —

Voici le détail des ventes du Canadian Pacific Railway pour les années 1890 et 1891 :

1890 87 485 acres. $ 312 664. Moyenne : $ 3,83 l'acre
1891 97 240 — 414 945. — : 4,26 —

L'avenir de ces terres fertiles du Canada est incontestable, et grâce à la grande ligne qui les traverse, elles sont appelées à prendre une plus grande valeur de jour en jour.

Hôtels.

Le Canadian Pacific Railway ne cherche pas seulement à attirer les émigrants au Canada, il a de plus créé, grâce aux splendeurs naturelles de la ligne, un courant de touristes d'été, qui constitue une clientèle riche; il a voulu avoir sous son contrôle immédiat les hôtels, et c'est pour cela qu'il les a construits lui-même. Il a établi, soit des hôtels spacieux, soit des « maisons » près des sites abrupts, soit enfin des chalets haut perchés dans la montagne; là, sans crainte d'être écorché par un hôtelier sans scrupule on trouve à un prix fixé à l'avance, — généralement $ 3 par jour — le calme et la fraîcheur qui délassent de la vie fiévreuse des villes. Les artistes et les amateurs peuvent à leur aise contempler les pics neigeux aux silhouettes grandioses, tandis que les sportsmen trouvent dans le voisinage immédiat des hôtels de vastes champs pour donner carrière à leur activité.

Banff, sur les premiers escarpements des Rocheuses, est remarquablement situé à l'abri des vents du nord et de l'ouest, et est bâti au centre du « Canadian national Park » — à l'instar du célèbre « Yellowstone Parc » des États-Unis —. Il offre la ressource de ses eaux minérales chaudes à ceux qui ne peuvent se contenter de l'eau du torrent et de l'air pur de la montagne. Le Canadian Pacific Railway a bâti un grand hôtel sur le rocher qui domine la vallée, et a tracé des routes à ses frais dans le « Canadian national Park », bâti des ponts, etc., pour l'agrément des voyageurs.

Plus haut dans la montagne, le *chalet du lac Louise* est surtout fréquenté par les pêcheurs de truite et les chasseurs qui peuvent y poursuivre le mouflon, le chamois, l'ours grizzly, l'élan, le caribou, le moose, etc.

Près du point culminant de la ligne, 1235 *m* au-dessus du niveau de la mer, la *maison du Mont-Stephen* est bâtie pour amener les touristes dans la passe du Cheval-qui-Rue.

Dans les monts Selkirks, la *maison du Glacier* a été établie à quelques mètres de la moraine du Grand-Glacier et on peut dire qu'elle est dans un des paysages des plus grandioses.

Enfin la *maison du Fraser*, située au milieu du cañon de la rivière Fraser, permet aux pêcheurs de venir exercer leur adresse contre les plus beaux saumons du monde.

Chaque été, le Canadian Pacific Railway organise plusieurs campements sur le lac Kootenai qui est relié à la ligne par un ser-

vice de steamboats; de même sur les bords du lac Supérieur qui a l'avantage de n'être qu'à une journée de Montréal.

Pour terminer, citons l'hôtel Terminus que le Canadian Pacific Railway fait actuellement construire à Québec. Cet hôtel, qui porte le nom de Frontenac, le héros français, est bâti à l'extrémité de l'admirable terrasse Dufferin; il vient d'être terminé il y a quelques mois et est un des plus confortables et des plus artistiques de l'Amérique.

CHAPITRE VI

Services accessoires du Canadian Pacific Railway : Télégraphes.

C'est par la pose des fils télégraphiques que le Canadian Pacific Railway a commencé ses travaux en 1880. Il était en effet nécessaire, étant donnée la distance entre les divers chantiers, de les mettre les uns et les autres en communication avec les bureaux centraux des Ingénieurs.

Depuis 1885 que la Compagnie est en exploitation, le télégraphe a pris une grande importance, car la ligne est en voie unique, et le mouvement des trains se fait fréquemment par le télégraphe, comme nous l'avons vu en parlant de l'exploitation.

Nous ne dirons donc qu'un mot pour rappeler le rôle des « train dispatchers » ; le « chief train dispatcher » a le contrôle absolu des trains circulant sur sa section, et il a la préférence sur tout autre pour l'usage du fil.

Outre la marche des trains, le télégraphe est largement utilisé pour les autres services : voyageurs, marchandises, traction, travaux de la voie et des ponts, etc.

Étant donnée l'importance de ce département, la Compagnie a dû créer un service propre pour son usage sans s'adresser, comme cela s'était fait aux États-Unis, à des Compagnies privées déjà existantes. Bien plus, le Canadian Pacific Railway en a profité pour s'en faire même une source de profits.

Dès le 13 septembre 1886, c'est-à-dire moins d'un an après l'ouverture de la ligne, tous les bureaux télégraphiques du Canadian Pacific Railway étaient ouverts au service public et, depuis cette époque, les recettes ont toujours été en augmentant.

On comprend facilement qu'avec de hauts poteaux permettant l'adjonction de fils spéciaux sur les parties chargées de la ligne,

le Canadian Pacific Railway puisse transmettre les dépêches privées, sans voir s'augmenter largement les frais d'entretien nécessités par le propre service du chemin de fer, et c'est l'importance de ce département qui a fait placer à sa tête un directeur spécial.

Actuellement le Canadian Pacific Railway a fait parvenir ses lignes dans tous les points importants du Canada. De plus, il est en communication avec un certain nombre d'autres lignes, aussi bien au Canada qu'aux États-Unis. Les lignes sous-marines sont dites du système Mackay-Benett, et sur leur prospectus elles se signalent par cette mention : « 3 000 milles and return in 45 seconds. »

Le télégraphe du Canadian Pacific Railway a pris de jour en jour plus d'extension, puisque de 8 000 milles de fils en 1885, il en possédait 25 000 milles en 1892.

Dans les petites villes où le chemin de fer ne passe pas, le Canadian Pacific Railway s'est arrangé pour l'envoi des dépêches par le téléphone, et l'on peut dire que toute agglomération un peu importante est actuellement desservie.

Pour éviter les erreurs de transmission, on opère sur des sections très longues.

Cap Canso à Montréal.	environ	500	milles	soit	800 *km*.
Montréal à New-York.	—	1 000	—	—	1 600
Montréal à Chicago.	—	1 000	—	—	1 600
Montréal à Winnipeg.	—	1 400	—	—	2 240
Winnipeg à Vancouver. . . .	—	1 500	—	—	2 400
Vancouver à San-Francisco . .	—	1 050	—	—	1 680

Pendant la nuit, la communication directe est établie entre New-York et Winnipeg, 3 200 *km* et fréquemment entre New-York et San-Francisco, via Montréal-Vancouver, 7 200 *km*.

Grâce à la température sèche du Canada, la transmission se fait en général dans de très bonnes conditions ; du reste, rien n'est négligé pour assurer un entretien facile.

Les poteaux sont en cèdre et choisis avec le plus grand soin, tous ceux qui n'ont pas 18 *cm* de diamètre au sommet sont éliminés. Ils sont en général longs de 8 à 10 *m* et sont enterrés de 1,50 *m*. Il y a en moyenne 20 à 22 poteaux au kilomètre.

On emploie des fils de fer galvanisé ayant une faible résistance électrique, et cependant une grande force à la traction.

Les isolateurs sont des godets en porcelaine posés sur de petites chevilles en bois ; les isolateurs en verre coûtent meilleur marché mais ils ont été abandonnés comme se brisant facilement

sous l'effet du froid et de la contraction des fils. Dans certaines parties de la voie, on place les fils sous terre à cause des avalanches de neige qui glissent des montagnes au dégel.

Tous les 800 kilomètres environ, un agent est muni d'un appareil pour vérifier le bon fonctionnement de la ligne. Il a sous ses ordres des hommes chargés chacun d'une section de réparation ; chaque section a une longueur de 80 à 400 *km* et l'homme habite au centre de sa section. On comprend donc qu'il est toujours prêt à effectuer la réparation au premier signal. A cet effet, il est muni d'un vélocipède, qu'on place sur les rails. Cette machine, actionnée par les mains et les pieds, marche aisément à 16 *km* à l'heure, et il n'est pas rare de voir des hommes faire jusqu'à 160 *km* dans leur journée par ce moyen.

Les ouvriers montent aux poteaux au moyen de crampons attachés à leurs jambes ; quelques paires de pinces et un petit moufle pour tendre le fil composent en général tout leur outillage.

On cite quelques curieuses causes d'interruption : un jour, c'était un ours qui était monté au sommet d'un poteau et établissait la communication ; une autre fois des bandes de canards sauvages avaient cassé tous les fils. Quoi qu'il en soit, ces accidents sont rares et le service souffre rarement d'interruptions même momentanées.

Les appareils du système Morse sont exclusivement employés dans toute l'Amérique du Nord avec l'alphabet bien connu créé par l'inventeur.

Mais une grande différence réside dans l'appareil récepteur ; on a bien vite abandonné la bande de papier sur laquelle s'imprime la dépêche pour adopter le « récepteur au son » ; l'oreille exercée de l'opérateur perçoit les sons longs ou brefs de l'électro-aimant et peut écrire la dépêche sans que ses yeux aient à quitter le papier. On comprend ainsi à quelle simplicité se réduisent les appareils, et quelle grande rapidité on peut obtenir dans la transmission ; mais il en résulte cet inconvénient qu'il n'existe pas une trace écrite de la dépêche. Malgré ce système, les employés des bureaux centraux qui transmettent et reçoivent sans arrêter toute la journée, sont soumis à des règlements fort sévères : toute erreur leur vaut une amende, de même, s'ils interrompent la transmission plus de six fois dans la journée pour faire répéter un mot mal compris !

Le Canadian Pacific Railway a envoyé l'année dernière près de

un million et demi de dépêches, qui représentent une somme de 3 700 000 *f* environ.

Le prix des dépêches pour le public varie suivant la distance; il est de 25, 50, 75 cents et un dollar pour dix mots en dehors de l'adresse et de la signature.

Les télégrammes collationnés par répétition en retour sont payés 50 0/0 en plus et, dans ce cas, la Compagnie se tient responsable d'une somme égale à 50 fois le montant total de la dépêche. Les télégrammes collationnés ordinaires ne paient qu'une prime de 1 0/0 de leur valeur pour les distances jusqu'à 1 000 milles; au delà, la prime est de 2 0/0, mais la Compagnie n'est pas responsable de ses télégrammes.

La Compagnie des télégraphes du Canadian Pacific Railway, étant donnés ses nombreux emplois pour les relations internationales, a acquis actuellement la plus grande importance.

A côté des télégraphes, il y a la *Compagnie d'Express* qui a à peu près la même organisation. On appelle en Amérique « Compagnie d'express » des entreprises particulières qui se chargent de l'envoi des colis par trains express; il se trouve ainsi réuni dans une seule main, ce que nous appelons en France colis postaux, petits paquets et messageries. Elles servent aussi au transport des fonds dont la poste ne se charge pas au-dessus d'une certaine somme. L'envoi par les Compagnies d'express est très employé en Amérique, et chaque chemin de fer a sa Compagnie d'express affiliée.

Le Canadian Pacific Railway a fondé une Compagnie d'express qui porte le nom de « Dominion Express C° ». Les employés de chemin de fer sont en même temps les agents de la Compagnie d'express et l'on comprend que, par suite, les dépenses soient minimes. Les recettes de la « Dominion Express C° » se sont élevées, l'année dernière, à près de 300 000 dollars. Le tarif varie suivant la distance, avec laquelle il diminue dans de fortes proportions; on peut prendre comme tarif moyen le prix de 0,25 *f* les 100 *km* pour un poids de 5 *kg*, ce poids n'étant soumis à aucun maximum.

Bateaux.

Au début de l'ouverture de la ligne en 1885, Fort-William était la situation terminus de l'Est, et l'on faisait le trajet de Montréal à Fort-William par les lignes du Bas-Canada et les lacs; c'est ce qui amena le Canadian Pacific Railway à créer sa propre ligne de bateaux des lacs.

D'un autre côté, quelques années plus tard, en 1889, Vancouver, le terminus de l'ouest, fut créé port d'attache de la grande ligne transpacifique du Canadian Pacific Railway pour le Japon et la Chine.

Enfin de Vancouver l'on créa une ligne quotidienne avec Victoria, capitale de la Colombie Britannique, ainsi qu'une ligne pour l'Alaska.

Ligne des Lacs. — Cette ligne fait le service entre Fort-William, le port créé par le Canadian Pacific Railway, et Owen-Sound dans la baie Géorgienne, en passant par le canal du Sault-Sainte-Marie. Signalons en passant, pour montrer l'importance de la navigation des lacs, que le trafic du canal du Sault-Sainte-Marie, bien que la navigation y soit interrompue en hiver, a été, en 1892, de 10 647 206 *t*, c'est-à-dire près de 20 0/0 en plus que le canal de Suez. Le trafic des lacs représente 22,6 0/0 du trafic total des États-Unis. Le prix du fret est d'environ 0,46 *f*, c'est-à-dire moins d'un demi-centime, par tonne et par kilomètre.

Le port d'Owen-Sound est relié par une voie ferrée avec la région Toronto-Hamilton sur le lac Ontario d'où les produits se rendent à Montréal ou aux États-Unis par les voies du Canadian Pacific Railway.

La ligne de bateaux prend comme fret de retour les produits manufacturés du bas Canada pour les envoyer dans l'ouest. Ce service des bateaux avait le grave inconvénient d'être arrêté en hiver et c'est ce qui a déterminé le Canadian Pacific Railway à construire la ligne de Fort-William à Montréal, malgré toutes les difficultés de la route et le trafic local à peu près nul.

Malgré cela, le service se continue toujours du 15 mai au 15 novembre, et se transforme peu à peu en une ligne de touristes, les steamers ayant été aménagés *ad hoc* par l'adjonction de cabines nombreuses éclairées à l'électricité, etc.

Les bateaux ont été construits par les ateliers de la Clyde, en Écosse, et portent les noms des trois provinces de l'ouest : Alberta Ahtabaska et Manitoba. Ils ont 100 *m* de long et jaugent 2 600 tonneaux ; ils sont aménagés pour 250 passagers ; les machines sont à triple expansion simple et peuvent développer 2 500 *ch*, avec une vitesse de 16 milles terrestres à l'heure (1). La durée du trajet est de 44 heures, la distance étant de 554 milles entre Fort-William et Owen-Sound, avec arrêts au Sault-Sainte-Marie.

(1) Sur les grands lacs on compte toujours les distances en milles terrestres.

Ligne transpacifique. — Cette ligne part de Vancouver pour aller Yokohama et Hong-Kong avec escale à Sanghaï.

Les vaisseaux ont été construits en Écosse en 1890, et ont été envoyés dans l'océan Pacifique l'année suivante. On a profité de leur départ de Liverpool pour organiser un voyage autour du monde avec escale dans les principaux ports, puis retour par la ligne du Canadian Pacific Railway et les transatlantiques. La Compagnie trouva ainsi un moyen pratique d'alléger ses dépenses de premier voyage.

L' « Impératrice-des-Indes », l'« Impératrice-de-Chine », l'« Impératrice-du-Japon », sont de magnifiques steamers de 160 *m* de longueur sur 17 *m* de large, avec un tirant d'eau de 10,5 *m*; tonnage : 5 905 *tx* et 3 000 *t* de marchandises.

Ils sont munis de deux hélices actionnées chacune par une machine à triple expansion de 5 000 chevaux.

Dimensions des cylindres :

Diamètre	0,80 *m*
—	1,27
—	2,06
Course commune.	1,36

La vitesse moyenne est de 17 nœuds, c'est-à-dire que la distance entre Yokohama et Vancouver est en général franchie en 14 jours.

Le Canadian Pacific Railway a aussi créé, comme nous l'avons dit, un service rapide entre Vancouver et Victoria — 90 milles marins — Cette distance est franchie en 6 heures, grâce au bateau « Islander ». C'est ce navire, aménagé pour plus de 100 passagers de cabine, qui va deux fois par an en Alaska jusqu'au Muir-Glacier, par 59° de latitude nord.

Nous avons étudié, au cours de ce mémoire, les principales questions qui touchent au Canadian Pacific Railway et qui nous ont paru intéressantes pour la Société des Ingénieurs civils de France. Combien d'autres, malheureusement, avons-nous dû laisser de côté pour ne pas sortir du cadre de cette étude.

Résumons-nous en quelques mots :

Le réseau transcontinental du Canadian Pacific Railway a été commencé par le Gouvernement Canadien ; puis, les travaux re-

pris par une Compagnie privée en 1880 n'ont pas tardé à être menés à bonne fin. En 1885, la ligne était ouverte par les lacs et moins de deux ans après, la côte du Pacifique reliée directement à Montréal. Il n'y a qu'à jeter les yeux sur un carte du pays, pour comprendre l'importance de cette ligne. Aussi, les résultats financiers se sont-ils améliorés d'année en année, au fur et à mesure que le trafic s'augmentait. Le bilan établi l'année dernière montre la situation florissante des finances.

Si cette situation est devenue excellente en peu de temps, c'est que les directeurs ont su s'assurer le concours d'hommes compétents à la tête de chaque service. Les Ingénieurs se sont appliqués à remplacer les anciens ouvrages en bois par des ouvrages durables, solides et en même temps très économiques : l'acier dans un grand nombre de cas, la pierre dans d'autres, ont permis de réaliser ces conditions.

Les qualités convenablement choisies du métal ont permis de baser les calculs sur un cahier des charges souvent très sévère. Les ponts métalliques du Canadian Pacific Railway, au moins ceux du système à rivure rigide, ont un poids relativement faible, si on les compare aux ponts métalliques que l'on construit en Europe.

Le remplacement des viaducs en chevalets de bois par des ouvrages maçonnés surmontés de remblais, a permis de réduire dans une large proportion les dépenses d'entretien des ouvrages d'art. La voie elle-même et ses accessoires sont aujourd'hui dans des conditions telles que la stabilité des rails est assurée, et, par suite, la sûreté et la régularité du trafic.

Les stations et tout ce qui en dépend sont établis de façon à permettre une augmentation des bâtiments en même temps que croît l'importance des points desservis par la ligne.

En ce qui concerne l'exploitation, tous les efforts tendent à la rendre régulière et économique ; les « time tables » ainsi que les « Règles et Régulations » nous ont permis de donner une idée de ce qu'était cette exploitation au Canada, et si les renseignements sur les tarifs ont été un peu succincts, il ne faut s'en prendre qu'à l'organisation elle-même des chemins de fer en Amérique, qui permet de changer le prix des transports au seul gré des agents de la Compagnie.

Là où les Américains sont passés maîtres, et où le Canadian Pacific Railway occupe une des premières places, c'est dans la construction des locomotives et des wagons. Les machines à la fois

puissantes, stables et bon marché, permettent de traîner des trains lourds, sur un profil à grandes pentes, et à courbes de faible rayon. Quant aux wagons, ce n'est que grâce à leur construction confortable et à leur aménagement qu'on peut supporter les longues heures de voyage qui seraient une fatigue dans nos meilleurs compartiments européens. Les sleepings-cars sont construits et organisés avec le plus grand soin; on n'a pas non plus oublié les voyageurs peu fortunés pour lesquels le « colonist sleeping-car » offre un confortable relatif.

A côté de ces services principaux de la construction et de l'exploitation, nous avons dit en terminant quelques mots des services accessoires du chemin de fer : colonisation, et hôtels; établissement des télégraphes et du service de messageries ; enfin, création de diverses lignes de bateaux appartenant à la Compagnie, ligne du Japon et de la Chine, ligne des Lacs, etc.

Est-ce à dire que le Canadian Pacific Railway ne donne lieu à aucune critique? Nous n'irons pas jusque-là; cette grande Compagnie américo-canadienne a, nous l'avons vu, les qualités des chemins de fer des États-Unis ; elle en a aussi les défauts: l'absence parfois de scrupules que nous avons en Europe, un respect de la légalité souvent un peu succinct en ce qui concerne notamment le droit des gens ; une désinvolture un peu excessive vis-à-vis des voyageurs et des marchandises transportées...

La grande artère transcontinentale dont nous avons à grands traits développé les points principaux est appelée, dans l'avenir, à avoir une importance toute particulière.

Non seulement elle a apporté la vie et la prospérité dans le « Far West » canadien, cette région immense qu'avaient si longtemps hantée les Indiens et les bisons, mais elle a en même temps créé un débouché pour les terres fertiles du Canada central et pour les produits de l'élevage, dont l'exportation augmente d'année en année.

C'est grâce à elle que l'on peut mettre en valeur les richesses forestières de la vallée supérieure de l'Ottawa, de l'Algoma, du Lac des Bois, et surtout de la colonie anglaise, où les arbres atteignent des proportions si gigantesques.

Grâce à elle encore, il est possible maintenant d'aller chercher dans le sein de la terre les richesses qui y sont enfouies, mais qui sont malheureusement encore trop peu connues : cuivre et nickel à Sudbury, fer et argent au lac Supérieur; métaux pré-

cieux dans l'Algoma, au Lac des Bois et dans les nombreux districts de la Colombie anglaise : anthracite à Banff, charbon à Estevan, tout près de Winnipeg, ainsi que dans les vallées de la Saskatchewan, à Lethbridge et enfin dans l'île de Vancouver.

C'est le Canadian Pacific Railway enfin qui a su amener dans ses montagnes pittoresques des touristes ; dans les plaines fertiles qu'il traverse des colons, de façon à laisser entrevoir bientôt pour le pays une ère de prospérité et de richesse toujours grandissante.

Pour terminer, envisageons les choses de plus haut. C'est le Canadian Pacific Railway qui, par sa position géographique, est la plus courte de toutes les lignes à travers le continent nord-américain. Par lui, Halifax, à 2 500 milles de Liverpool, est mis en communication avec Vancouver, port d'attache des steamers pour le Japon, la Chine, et bientôt l'Australie, et la concurrence aux lignes du canal de Suez, commence a être, dit-on, redoutable.

Le Canadian Pacific Railway va établir prochainement une ligne de steamers rapides entre Montréal et l'Europe avec escale à Cherbourg. Qui dit que ce ne sera pas cette voie, à travers le Canada devenu complètement indépendant, que la France emploiera alors pour communiquer avec l'Extrême-Orient ?... En tout cas, la ligne du Canadian Pacific Railway fournira, avec la ligne transsibérienne, le moyen aux reporters excentriques de faire le tour du monde en moins de quatre-vingts jours.

———

COMPTE RENDU

DU 32e CONGRÈS DES SOCIÉTÉS SAVANTES

PAR

M. H. RÉMAURY

En 1891, j'ai eu l'honneur, comme cette année, de faire partie de la délégation de notre Société au Congrès des Société savantes et de rendre compte de l'important travail présenté à ce Congrès par notre collègue, M. Gibon, sur la paix des ateliers et les institutions aptes à faciliter l'arbitrage et la conciliation entre patrons et ouvriers.

La délégation au Congrès de 1894, composée de cinq membres, MM. Chevalier, Coignet, Fleury, Gruner et Rémaury, n'a choisi ni un sujet, ni un rapporteur, et chaque membre a suivi isolément les séances sans concert préalable ; néanmoins, il nous a paru convenable de mentionner devant vous notre présence effective au Congrès qui vient de se tenir à Paris du 27 au 31 mars dernier et d'affirmer son succès ainsi que la grande impression produite à la séance de clôture qui a eu lieu, comme celle d'ouverture, dans le grand amphithéâtre de la nouvelle Sorbonne.

J'ai été chargé par mes collègues de vous présenter un compte rendu sommaire de ce Congrès, le 32e depuis son origine.

M. E. Levasseur, membre de l'Institut, professeur au Collège de France et au Conservatoire des Arts et Métiers, a ouvert le Congrès au nom du Ministre de l'Instruction publique, des Beaux-Arts et des Cultes. Avant de faire connaître la composition des bureaux des Sections au nombre de cinq (1), dans lesquelles les délégués des Sociétés savantes sont répartis, M. Levasseur a rappelé la fondation de ces réunions, grâce à l'institution, due à M. Guizot en 1834, d'un Comité chargé de diriger les recherches et la publication des documents inédits, de manière à assurer aux Sociétés savantes des départements un lien avec le Ministère de l'Instruction publique et un moyen d'encourager leurs efforts en publiant leurs travaux.

Le premier Congrès des Sociétés savantes date de l'année 1861 et se tint à la Sorbonne le 25 décembre, à la suite d'un concours institué par M. Rouland pour le meilleur dictionnaire géographique d'un département ou d'un arrondissement ; le 2e Congrès fut tenu en avril 1863 et ces solennités se sont renouvelées, depuis lors, presque tous les ans jusqu'au 32e Congrès en 1894.

(1) Les cinq Sections sont les suivantes : Histoire et Philosophie, Archéologie, Sciences économiques et sociales, Sciences, Géographie historique et descriptive.

Je dépose, à l'appui de mon compte rendu, les deux fascicules que chaque délégué a reçus à la séance d'ouverture, donnant, l'un le programme des questions posées aux sections, et l'autre, l'ordre du jour des séances avec l'indication des communications et des rapporteurs.

Le *Journal officiel* a résumé les travaux des différentes Sections et je ne puis qu'engager ceux d'entre vous qu'ils intéressent à lire les numéros du 27 mars au 1er avril.

Je mentionnerai seulement deux communications : la première appartient à la Section des Sciences économiques et sociales et répond à la dix-huitième question du programme ainsi formulée :

« Est-il désirable qu'il soit fait en France une loi relative aux Assurances sur la vie ? Quelles devraient en être les bases ? »

Cette question nous intéresse tous et spécialement les Ingénieurs, plus ou moins exposés au danger, quelle que soit la branche à laquelle ils appartiennent.

Les membres inscrits pour la traiter étaient :

MM. Cheysson, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, de l'Institut des Actuaires français ;
de la Grasserie, de la Société philotechnique et de la Société de législation comparée de Paris ;
Guieysse, Député, de l'Institut des actuaires français.

Ces noms suffisent pour établir avec quelle compétence le sujet a été traité.

M. Cheysson a montré l'insuffisance de la législation actuelle au point de vue de la sécurité des capitaux assurés ; et cependant ces capitaux s'élèvent à 3 milliards 1/2, chiffre égal à celui des Caisses d'épargne.

La conclusion des rapporteurs est le dépôt d'un projet de loi respectant la liberté commerciale des Compagnies d'assurances, mais organisant des garanties nécessaires pour leur autorisation et leur surveillance (1).

La deuxième communication que je tiens à signaler a pour auteur M. Henri Chevalier, l'un des cinq délégués de la Société des Ingénieurs civils de France.

Notre collègue m'a remis une note sur son travail qui appartient à la Section de Géographie historique et descriptive ; c'est une traduction d'un traité coréen.

M. Chevalier est un Ingénieur distingué, dirigeant avec d'autres membres de sa famille un atelier de constructions mécaniques. Ses travaux habituels ne l'ont pas empêché de se livrer à l'étude d'un problème tout particulier ; il a cherché à pénétrer l'esprit mystérieux d'une race peu connue, mais qui fait partie du monde chinois avec lequel nous avons à compter pour nos possessions dans l'Indo-Chine ; et il a eu le courage d'apprendre la langue coréenne.

On sait que la Corée est comprise dans la presqu'île qui sépare le golfe de Petchili de la mer du Japon ; elle est nominalement tributaire de la Chine, mais en réalité indépendante ; elle est restée longtemps

(1) Voir le *Journal officiel* du 31 mars, page 1495.

fermée (1). Ce n'est que depuis l'anné 1876 que les Japonais ont réussi à faire ouvrir un certain nombre de ports de la Corée au commerce étranger.

M. Chevalier est probablement le premier Français qui ait essayé de traduire un ouvrage coréen pour nous faire connaitre les mœurs et les pratiques locales de ces populations de l'Extrême-Orient, vouées depuis vingt-cinq siècles aux doctrines de Confucius.

L'ouvrage traduit par notre collègue est fort ancien ; c'est un traité sur la divination ; il ne porte pas de nom d'auteur; il est imprimé en caractères coréens, les titres et la table sont en chinois. Le traité est divisé en quatre parties contenant chacune une méthode différente.

La première tient compte de l'âge du consultant, de l'étoile et du Bouddha qui régissent cet âge; il y a neuf étoiles et douze Bouddhas; en combinant ces différentes influences, on voit ce que l'on peut craindre et ce que l'on doit faire pour éviter les malheurs annoncés.

La deuxième méthode est basée sur les combinaisons des cinq éléments : métal, bois, eau, feu et terre. On tire au sort ces différents éléments et la combinaison obtenue indique la voie à suivre.

La troisième méthode est basée sur les soixante-quatre combinaisons des quatre premiers nombres trois à trois, on peut les obtenir de différentes façons; la plus originale consiste à poser le doigt sur une page du livre en fermant les yeux, on compte le nombre de traits dont se compose le mot ainsi trouvé et on divise par quatre; on a le premier chiffre de la combinaison; on opère de même pour les deux autres; à chaque combinaison correspondent une formule et une prédiction.

La traduction de la quatrième partie a présenté de grandes difficultés et beaucoup d'obscurités. Elle traite des maladies causées par les mauvais génies et des pratiques très méticuleuses à suivre pour s'en garantir; il faut tenir compte de la date du jour dans le mois et aussi des caractères cycliques et horaires correspondant au jour et à l'année où l'on se trouve.

Je m'arrête et je retiens seulement que cette race est essentiellement superstitieuse et qu'il sera prudent d'agir en conséquence dans nos rapports avec elle.

Il me reste à vous apporter l'écho des applaudissements qu'il nous a été donné d'entendre à la séance de clôture présidée par le Ministre, M. Spuller.

Sur son invitation, M. E. Levasseur a pris le premier la parole, comme Président du Congrès et de la Section des Sciences économiques et sociales.

L'orateur a fait ressortir que pour la première fois l'honneur du discours était dévolu à un membre de cette Section, et après un hommage rendu au culte de l'histoire et de l'archéologie qui font revivre le passé, il a souligné les nécessités de l'heure présente pour l'étude des problèmes actuels qui nous pressent, ou du moins pour en poser les termes avec précision.

Puis il a abordé son principal sujet qui était le développement prodi-

(1) Surface de la Corée : 218 000 km^2. Surface de la France : 536 408 km^2. Population en 1883 : 10 568 957 habitants.

gieux de cette puissante et jeune nation, la nation américaine, comptant 4 millions d'âmes en 1790 et près de 67 millions aujourd'hui.

L'Exposition de Chicago a permis à ceux d'entre vous qui ont pu la visiter, comme M. Levasseur, d'apprécier avec lui que la vieille Europe a su créer une fille extraordinaire qui n'est pas sans donner quelques inquiétudes à ses parents, auxquels elle envoie des rations alimentaires un peu fortes, en blé surtout, et à des prix trop avantageux.

Nos paysans ne sont pas des rentiers et doivent gagner leur pain à la sueur de leur front... Mais il paraît que l'équilibre agricole se prépare, espérons-le et disons, avec M. Levasseur, en nous inspirant de l'énergie du peuple américain. « Le génie de l'homme saura triompher. »

M. le Ministre a pris la parole après M. Levasseur; il l'a remercié du tableau magistral qu'il venait de tracer des grandes lignes de l'agriculture et de l'industrie américaines, et il a conclu en faisant appel aux efforts de tous dans notre pays pour la culture intellectuelle de la démocratie. Le niveau de la France ne se maintiendra que si chacun s'y emploie.

Nous avons tous besoin les uns des autres, a dit le Ministre, les savants sont des hommes de paix et de bonne volonté; ils ont un grand rôle à jouer dans cet esprit de réconciliation, de concorde et d'apaisement.

Les applaudissements unanimes de l'assemblée ont prouvé à M. Spuller qu'il avait été compris et que chacun prenait l'engagement de travailler, selon ses vues, à la grandeur intellectuelle et morale du pays. Il m'a semblé que la parole du Ministre avait été d'avance entendue par notre Société. En effet, dès sa constitution, la Société des Ingénieurs Civils avait inscrit dans son programme l'organisation de cours publics à l'usage des ouvriers et autres; si, à Paris, elle n'a pas eu à exercer dans ce but une action directe, c'est que beaucoup de ses membres intervenaient spontanément dans les Associations philotechnique et polytechnique en se donnant la tâche d'enseigner après une journée bien remplie. En province, il n'y a pas de centre ouvrier un peu dense où, à l'exemple de leurs collègues parisiens, les Ingénieurs Civils ne se soient mis à la disposition des populations au milieu desquelles ils vivent pour élever leur niveau à l'aide de cours et de conférences.

Me sera-t-il permis d'exprimer le vœu de voir nos jeunes collègues redoubler aujourd'hui de zèle et de sollicitude affectueuse envers leurs collaborateurs ouvriers; ils doivent se montrer comme leurs meilleurs amis et les détourner ainsi des hommes néfastes qui vont partout exciter la désunion, pour fomenter la guerre sociale dont ils vivent au détriment des patrons et des ouvriers.

CHRONIQUE

N° 172.

Sommaire. — Expériences sur des machines à triple expansion fonctionnant à puissance réduite. — Le plus long pont-route du monde. — Dessèchement de la vallée de Mexico. — Emploi de la vapeur à des altitudes élevées. — Les voies de chemins de fer en Suisse. — Le nouveau phare de Genève.

Expériences sur des machines à triple expansion fonctionnant à puissance réduite. — M. D. Croll, directeur de la Société Néerlandaise de navigation à vapeur, a lu à l'*Institution of Naval Architects* le 16 mars dernier un important mémoire sur des expériences faites par lui sur la marche à puissance réduite des machines à triple expansion. Nous croyons devoir reproduire ce travail, non seulement parce qu'il touche à une question très controversée et de haute importance, mais aussi parce qu'il aborde un point dans lequel certains esprits distingués voient le plus grand perfectionnement futur de la machine à vapeur, l'influence de la nature des parois des cylindres sur les condensations intérieures.

Les expériences qui font le sujet de ce mémoire ont été exécutées sur une paire de machines à triple expansion du type ordinaire à trois coudes des dimensions suivantes : diamètres des cylindres 0,343, 0,533 et 0,895 *m*; course des pistons 0,533 *m*, pression à la chaudière 11,33 *kg*, diamètre et longueur de la chaudière 3,45, 2,78 *m*, surface de chauffe 105 et surface de grille 3,80 m^2. Le but des expériences était, tout d'abord, de déterminer la manière la plus économique de faire travailler les machines à des puissances comprises entre 250 et 300 *ch* indiqués et ensuite d'obtenir des données permettant de réaliser les résultats les plus élevés à l'essai à toute puissance. L'admission maxima au premier cylindre avait dû, pour des raisons pratiques, être réglée à 0,75 *m* de la course, admission trop grande pour la production normale de vapeur de la chaudière. Il fallait donc réduire la pression à celle-ci ou employer l'étranglement ou réduire l'admission par la coulisse. L'auteur n'a voulu donner que les résultats qu'on peut considérer comme exacts, tous ceux qui sont douteux ont été supprimés ; c'est ce qui explique les vides laissés dans le tableau des expériences.

NUMÉROS DES ESSAIS	PRESSION à la chaudière	PRESSION à la boîte à tiroir du CYLINDRE H. P.	ADMISSION au CYLINDRE H. P.	PRESSION MOYENNE au CYL. H. P.	CYL. inter.	CYL. B. P.	PRESSION MOYENNE rapportée au CYLINDRE B. P.	TRAVAIL INDIQUÉ CYL. H. P.	CYL. inter.	CYL. B. P.	TOTAL
	kg	kg		kg	kg	kg	kg				
1	9,91	2,47	0,75	1,70	0,51	0,25	0,68	26,7	19,1	27,5	73,5
2	11,32	7,15	0,75	3,68	1,12	0,52	1,45	67,5	49,5	65	182,0
3	11,32	7,08	0,75	3,72	1,16	8,55	1,50	71,0	53,5	71	195,6
4	7,50	6,65	0,75	3,78	1,46	0,52	1,60	79,5	72,5	72	215
5	7,50	6,80	0,75	3,89	1,51	0,54	1,63	83	77	78	238
6	7,93	7,22	0,75	4,00	1,62	0,62	1,78	86	85	92,5	263,5
7	10,97	8,28	0,75	4,55	1,58	0,60	1,83	106	89	98	293
8	10,34	9,00	0,655	4,37	1,57	0,65	1,84	104	91	106	301
9	10,97	8,51	0,75	4,49	1,58	0,62	1,83	109	93	103	305
10	10,76	9,63	0,655	4,51	1,59	0,66	1,88	111	94,5	111	316,5
11	11,32	9,20	0,75	4,60	1,56	0,63	1,89	121	100	115	336
12	11,32	10,48	0,625	3,89	1,58	0,65	1,78	100	97	113	310
13	10,20	9,70	0,69	4,67	1,76	0,83	2,14	132	120	160	412
14	10,76	10,20	0,69	4,79	1,81	0,86	2,22	138	127	169	431

NUMÉROS DES ESSAIS	NOMBRE DE TOURS par MINUTE	VIDE au CONDENSEUR	TEMPÉRATURE de L'EAU AU CONDENSEUR	EAU D'ALIMENTATION par cheval indiqué ET PAR HEURE	PROPORTION D'EAU NON ACCUSÉE SUR LES DIAGRAMMES Moyenne haut et bas — CYLINDRE H. P. au commencement de la détente	CYLINDRE H. P. à la fin de la détente	CYLINDRE intermédiaire au commencement de la détente	CYLINDRE intermédiaire à la fin de la détente	CYLINDRE B. P. au commencement de la détente	CYLINDRE B. P. à la fin de la détente	MOYENNE
		m	deg. C.								
1	73,5	0,660	30	9,069	—	—	—	—	—	—	—
2	85,3	0,508	60	9,069	0,225	0,20	0,20	0,21	0,30	0,229	0,227
3	88,6	0,621	50	8,360	0,193	0,173	0,167	0,169	0,302	0,249	0,208
4	95,6	0,660	—	8,890	—	—	—	—	—	—	—
5	98,6	0,635	—	8,590	0,222	0,184	0,184	0,218	0,358	0,33	0,249
6	101	0,621	48	8,250	—	—	—	—	—	—	—
7	109,2	0,635	—	7,933	0,15	0,108	0,14	0,163	0,33	0,30	0,198
8	111,6	0,635	—	7,175	—	—	—	—	—	—	—
9	113,6	0,635	43	7,620	—	—	—	—	—	—	—
10	115,6	0,635	—	7,157	0,118	0,102	0,247	0,135	0,332	0,288	0,203
11	122,8	0,635	—	7,248	—	—	—	—	—	—	—
12	119	0,630	—	7,134	0,123	0,108	0,234	0,124	0,278	0,242	0,184
13	131,5	0,621	52	6,795	—	—	—	—	—	—	—
14	133,5	0,610	52	6,806	0,171	0,126	0,149	0,129	0,365	0,297	0,206

On remarque que les chiffres de la colonne des pressions dans la boîte à tiroir du premier cylindre présentent des anomalies; elles tiennent aux oscillations de l'aiguille du manomètre qui gênait la lecture, mais

on a donné ces pressions pour faire voir l'effet de l'étranglement produit par la réduction du passage de la valve. Il faut dire aussi que les expériences étaient faites avec le navire amarré dans un bassin relativement étroit et que l'état de la marée exerçait une influence très appréciable sur la relation existant entre le nombre de tours et la puissance développée, mais cela n'avait pas d'intérêt au point de vue de l'objet des essais.

On sait combien il est difficile de tirer des conclusions générales de faits relevés sur une seule machine; néanmoins l'auteur croit pouvoir être autorisé à déduire de ses expériences que 1° non seulement la machine à triple expansion manque quelque peu d'élasticité, mais encore qu'elle est extrêmement sensible à un réglage défectueux. Ainsi si on compare les essais 7 et 8, on voit qu'on atteint dans l'un 301 *ch* indiqués et dans l'autre 263,5 seulement avec la même consommation pratique totale de vapeur. 2° Si on compare ces résultats avec ceux qui ont été obtenus par M. Inglis sur l'*Iveagh* il semble résulter qu'il n'est pas possible d'obtenir de bons résultats en faisant fonctionner un appareil à triple expansion comme machine à double expansion.

L'auteur donne également une table des proportions de la vapeur qui n'est pas accusée par les diagrammes d'indicateur. Ces proportions ont été calculées aux divers points de chacun des trois cylindres. La seule explication possible de ces différences entre l'eau mesurée et la vapeur indiquée sur les diagrammes est dans les condensations sur les parois suivies de vaporisation. Les choses se passent comme suit : Si au commencement de la course les parois sont à une température inférieure à celle de la vapeur qui pénètre dans le cylindre, la plus grande partie de cette vapeur servira à chauffer les parois du piston et du plateau du cylindre en se condensant de manière à déposer une mince couche d'eau sur les surfaces. Lorsque la pression baissera après la fermeture à l'admission, cette couche d'eau commencera à se vaporiser, mais, à l'ouverture à l'échappement, quand la pression aura encore baissé davantage, l'évaporation s'activera et la température des parois du cylindre et du piston s'abaissera encore. La succession de ces effets se reproduira au coup suivant et ainsi de suite.

Il est à remarquer que, dans une machine à triple expansion, la vapeur formée par la revaporisation de l'eau déposée au premier et au second cylindre est utilisée dans le troisième, tandis que celle de ce cylindre passe sans effet utile au condenseur.

Supposons que 30 0/0 de la quantité de vapeur correspondant au poids d'eau d'alimentation soit déposée à l'état liquide sur le piston et le plateau du cylindre à basse pression. Dans la machine expérimentée, cette proportion représentera une couche d'eau de 1/25 de millimètre d'épaisseur. En considérant des couches d'une épaisseur aussi infinitésimale, il est naturel de se demander si la nature des surfaces qu'elles recouvrent n'a pas une influence considérable sur la proportion de la condensation. En pratique, les parois des cylindres sont presque toujours de la fonte ou de l'acier coulé dans un état de poli assez grand pour que les pistons n'aient dans leur déplacement à surmonter que le moins de résistance possible. On peut calculer que, dans le cylindre à basse pression

d'une machine marine des types actuels, la surface du piston et du plateau est de 50 0/0 supérieure à celle de la paroi cylindrique ; aussi joue-t-elle de ce chef et d'autres le rôle le plus important.

Si on admet que le refroidissement des surfaces est proportionnel à la revaporisation et, par suite, qu'il affecte dans le même rapport la condensation à l'admission, on peut se demander si l'emploi de la fonte et de l'acier coulé à l'état brut ou bien à l'état poli ne joue pas un rôle sérieux dans la divergence des résultats qu'on obtient avec des machines toutes bien établies et qui ne présentent aucune différence apparente capable de justifier des écarts de 30 0/0 dans la consommation de vapeur.

On sait que, pour faciliter l'absorption du calorique, on augmente le plus possible la surface exposée au contact des gaz chauds, c'est le principe des tubes Serve. On opère de même pour faciliter des cessions de calorique par un corps solide; c'est pour cela qu'on emploie des tuyaux à ailettes pour le chauffage. Il est facile de faire voir que l'état brut d'une surface de fonte et surtout d'acier coulé peut amener par rapport à l'état poli une énorme différence dans les effets. Supposons une partie infinitésimale de la surface du piston affectant la forme d'un triangle équilatéral : élevons sur chaque côté un triangle équilatéral dont on fera coïncider les sommets opposés; on aura un tétraèdre ou pyramide dont la surface sera trois fois celle du triangle de base. Si on divise le triangle primitif de base en quatre triangles égaux par des lignes parallèles à un des côtés unissant le milieu des deux autres côtés et qu'on élève sur chacun de ces triangles une pyramide, la surface extérieure de ces pyramides sera toujours trois fois celle de la surface de base. On peut donc conclure de ce raisonnement que l'aire réelle d'une surface brute d'acier coulé peut être considérée comme beaucoup plus grande, dans le rapport de 1 à 3, par exemple, que celle d'une surface plus ou moins polie et lisse.

L'auteur a donc été conduit à penser qu'on aurait de meilleurs résultats avec des pistons et plateaux en fonte qu'avec les mêmes organes en acier coulé. Une enquête faite auprès de divers constructeurs a paru indiquer que les machines avec lesquelles on avait le plus d'eau dans les cylindres étaient celles dont les pistons et plateaux étaient en acier coulé ; on aurait même constaté que dans certaines de ces dernières, il avait été trouvé impossible de relever des diagrammes d'indicateur à cause de l'extrême humidité de la vapeur.

M. Croll a eu lui-même des embarras avec un cylindre à basse pression sur lequel il était presque impossible de relever des diagrammes et il a essayé de modifier cet état de choses par l'application d'une sorte de vernis sur les surfaces. Ayant réussi à trouver une composition qui résistait à la température de la vapeur, il a fait quelques expériences sur une petite échelle. A cet effet, il a fait fabriquer un cube formé de feuilles de cuivre de 1,50 *mm* d'épaisseur. Une des faces était polie et les autres recouvertes de la composition. On remplissait le cube d'eau à différentes températures variant de 50 à 60 degrés centigrades. On envoyait un jet de vapeur contre les faces du cube et lorsque une couche mince d'eau s'y était déposée, on arrêtait le jet de vapeur et on mesurait le temps néces-

saire pour l'évaporation de la couche d'eau. On a obtenu, en moyenne, 368 secondes pour la face polie et 128 pour les faces vernies. Cette énorme différence semblait inexplicable à l'auteur lorsque le chimiste qui lui avait fourni la composition lui fit remarquer que, sous l'influence de la chaleur, celle-ci se sillonnait d'une infinité de petites fissures qui augmentaient dans des proportions considérables la surface de contact, bien qu'en apparence celle-ci restât lisse et unie. Quoi qu'il en soit, le fait n'en subsiste pas moins que deux surfaces, d'apparence polie toutes les deux, ont montré une différence très considérable dans leur puissance de revaporisation. Ce résultat n'a pas encouragé l'auteur à essayer cette composition sur un piston de machine à vapeur.

Une autre expérience dont les résultats ont été plus nets encore est la suivante. On a alésé l'intérieur d'un cylindre en fonte jusqu'à ce que l'épaisseur de la paroi fût réduite à 3 *mm* environ; on a laissé l'extérieur brut de fonte sur la moitié de la surface et l'autre moitié a été polie. Le récipient ainsi formé a été rempli d'eau à une température de 75 à 80° C; en opérant comme précédemment on a constaté que le temps nécessaire pour la revaporisation de l'eau provenant de la condensation du jet de vapeur était respectivement de 43 secondes pour la partie brute, et de 83 pour la partie polie de la surface extérieure du cylindre.

En résumé, on peut admettre que : plus est grande la faculté de revaporisation de la matière en contact avec la vapeur, plus le pouvoir condensant de cette surface sera considérable et plus le sera aussi la condensation initiale. La faculté de revaporisation est proportionnelle à la surface effective, donc il y a intérêt à réduire cette surface. On a vu que sous ce rapport une surface polie est bien plus avantageuse qu'une surface brute de fonte et on peut dire, que sous ce rapport, la plus mauvaise matière qu'il soit possible d'employer est l'acier coulé.

Il est donc à recommander de tourner et polir le mieux possible toutes les parties du cylindre des machines qui se trouvent en contact avec la vapeur. L'auteur aurait été heureux d'apporter des faits pratiques pour appuyer cette manière de voir, mais les expériences avec les machines marines sont si délicates à faire, qu'il ne lui a pas été possible jusqu'ici d'obtenir une démonstration directe; mais cependant, il a pu réunir un certain nombre de faits qui paraissent confirmer la théorie exposée ci-dessus :

1° L'auteur a construit une machine de bateau à roues dans laquelle chaque propulseur était actionné par un appareil compound, avec embrayage et débrayage facultatifs de l'arbre intermédiaire. La machine de bâbord avait toutes les parties intérieures des cylindres tournées et polies, tandis que, dans la machine de tribord, les mêmes parties avaient été laissées brutes de fonte. Le temps a malheureusement manqué jusqu'ici pour faire des expériences sur cet appareil, mais M. Croll a pu constater à la mer qu'il y avait de l'eau dans la machine de tribord et pas du tout dans l'autre;

2° Il a également toujours constaté dans sa pratique, qu'on avait une condensation excessive et gênante dans les machines ayant des pistons et plateaux de cylindres en acier coulé resté brut de fonte. Dans un cas, cet effet était si marqué qu'il était impossible de relever de diagrammes

sur le haut du cylindre où le plateau en acier coulé ajoutait son effet à celui du piston de même matière;

3° Les machines de torpilleur, dans lesquelles les pistons et quelquefois l'intérieur des plateaux sont polis, sont remarquables pour leur économie de fonctionnement à toute allure, et, en tout cas, ne donnent pas de trouble par l'eau de condensation dans les cylindres;

4° Une paire de machines à grande vitesse, construites par M. Martin, de Flessingue, a donné, en pratique, les mêmes résultats économiques à toute puissance et à un dixième de cette puissance; les pistons et plateaux de cette machine étaient tournés et polis;

5° Les plus faibles consommations réalisées, à la connaissance de l'auteur, dans les machines de terre, sont celles de machines de MM. Sulzer, de Winterthur, qui ont toujours soin de polir les pistons et plateaux des cylindres; la consommation de vapeur a été réduite à 5,3 *kg* par cheval indiqué et par heure dans leurs dernières machines à triple expansion verticales de grande puissance.

Ces faits confirment donc M. Croll dans l'opinion que, pour faire rendre aux machines les meilleurs résultats possibles, il faut avoir la précaution de polir les surfaces des pistons et des plateaux ou les recouvrir d'une couche d'une matière ayant une faculté relativement faible d'absorption et d'émission du calorique.

La communication que nous venons de reproduire est très intéressante et ouvre des horizons très séduisants. Il y a fort longtemps qu'on a fait les premiers pas dans la voie de la modification des surfaces intérieures en contact avec la vapeur; on a essayé successivement le plomb, le verre, la porcelaine, etc.; ces matières ont toutes l'inconvénient de mal s'ajuster sur le métal.

Plus récemment, notre collègue, le professeur Thurston, a essayé de modifier la surface des parois par un traitement chimique. Si, comme semblent l'indiquer les faits rapportés par M. Croll, il suffit de polir les surfaces, ce serait la solution la plus simple, dût-on augmenter encore ce poli par l'application galvanique d'un autre métal susceptible d'un poli plus fin encore. Il ne faut pas perdre de vue que, pour obtenir de bons résultats, il est indispensable de traiter de même les parois des lumières et conduits de vapeur en communication directe avec le cylindre, conduits dont la surface est très importante dans les machines marines.

Il est probable également que le poli des surfaces devrait être entretenu avec soin pour conserver son effet, autrement cela justifierait dans une certaine mesure l'objection que nous faisions à l'emploi des procédés de ce genre, il y a déjà plus de quinze ans (1).

Nous disions: « Dans toute machine qui a servi quelque temps, les parois intérieures, autres que les parties cylindriques qui sont continuellement râclées par le piston, sont recouvertes d'un crasse très dure formée par les matières grasses et qui acquiert une épaisseur plus ou moins considérable. C'est cette couche qui constitue la véritable paroi du cylindre. Or cette matière sera toujours la même, que les fonds de cylindres et les faces des pistons soient en fonte unie ou recouverte de plomb, de porcelaine, de verre, etc. »

(1) *Société des Ingénieurs civils*, novembre et décembre 1877, p. 948.

Une autre observation que nous suggère la communication de M. Croll est qu'il se montre peut-être bien sévère à l'égard de la machine à triple expansion lorsqu'il signale son manque d'élasticité.

Dans les essais dont les résultats sont donnés dans les tableaux des pages 00 et 00, les puissances ont varié de 73,3 à 431 *ch*, soit dans le rapport de 1 à 6 très sensiblement alors que la dépense de vapeur n'a varié que dans celui de 9,05 à 6,8, soit de 1,33 à 1.

Nous ne croyons pas qu'on obtienne mieux avec les machines à détente en cylindre unique, dont on entend souvent invoquer la supériorité au point de vue de l'élasticité sur les machines à plusieurs cylindres.

Il faut ajouter que si, dans le cas qui nous occupe, la réduction de puissance est obtenue par une réduction de la vitesse de fonctionnement, cette réduction même est, au point de vue des condensations intérieures, une cause d'infériorité économique pour la marche à puissance réduite.

Le plus long pont-route du monde. — Le pont, donnant passage à une route, le plus long qui existe actuellement est celui qui réunit la ville de Galveston (Texas), située sur l'île de ce nom, au continent en traversant un bras de mer.

Ce pont, commencé en novembre 1892 et achevé en octobre 1893, se compose de 89 travées fixes de 24 *m* et une mobile, reposant sur 92 piles en béton, et d'une longueur totale de 2 267 *m*, à laquelle il faut ajouter 1 182 *m* de viaducs en charpente aux deux extrémités, ce qui porte la longueur totale de l'ouvrage à 3 449 *m*.

Les piles ont été fondées sur pilotis de la manière suivante. On a d'abord échoué, à l'emplacement de la pile, un caisson métallique et on a dragué le fond à une profondeur de 1 *m* au moins. Si on a trouvé le terrain solide à cette profondeur, on établit directement les piles, sinon on a battu des pieux jusqu'au sol résistant. Ces pieux ont été arasés à 0,50 *m* au-dessous du niveau du sol, sauf pour la rangée centrale qu'on a laissé dépasser de 1,50 *m* pour être noyée dans le béton. Le nombre des pieux variait par pile de 17 à 24. La pile qui supporte la partie tournante de la travée mobile repose sur 63 pieux.

Une fois les pieux battus, on a installé le moule pour le coulage du béton et on a coulé celui-ci pour former la pile. Ce moule était en deux parties, l'une allant du sol un peu au-dessus du niveau de l'eau, l'autre formant la partie supérieure.

Le béton était composé de ciment portland, de sable fin et de pierres cassées, dans la proportion de 1 de ciment, 3 de sable et de 5 de pierres.

Les travées étaient en acier en forme de bow-string, chacune en quatre panneaux de 6,10 *m*; les cordes supérieures et inférieures sont en cornières rivées ensemble en forme de T et les montants verticaux et les barres obliques y sont attachés par des goussets.

Les traverses portant le plancher sont en forme de double T, en tôle et cornières. Les poutres principales sont écartées de 5,50 *m*. Toute cette construction est très légère comme on pourra en juger plus loin.

Ces travées ont été mises en place en les amenant sur des bateaux; elles sont fixées par des boulons noyés préalablement dans le béton des piles.

Les viaducs d'approche sont en bois créosoté pour la partie exposée à l'eau, et en bois de cèdre pour le reste.

Les prix élémentaires ont été de 90 *f* par mètre courant pour le viaduc en bois créosoté, de 102 *f* pour la partie en cèdre, 65 *f* pour la partie métallique, plancher en bois compris, et 100 *f* par mètre cube de piles en béton, fondations comprises.

La dépense totale ne s'est élevée qu'à 950 000 *f*, soit à 280 *f* environ par mètre courant, tout compris. La construction est très légère, comme nous l'avons indiqué, mais les charges auxquelles le pont doit donner passage sont très modérées. Il y avait, d'ailleurs, une question de principe, il fallait faire un pont économiquement ou ne pas avoir de pont du tout. Les Américains ont résolu la question selon leur manière habituelle.

Les travaux ont été exécutés sous la direction de M. H.-C. Ripley, ingénieur du comté de Galveston, pour le compte et aux frais duquel le pont a été fait.

Desséchement de la vallée de Mexico. — Nous avons donné, dans la chronique de juillet 1893, page 107, quelques renseignements sur les travaux gigantesques entrepris pour opérer le drainage de la vallée où se trouve la ville de Mexico. Ces travaux approchent, paraît-il, de leur achèvement, et on espère que dans dix-huit mois, le canal de 58 *km* et le tunnel de 10 *km* seront terminés, et donneront un écoulement aux eaux stagnantes de cette région. Le tunnel est actuellement entièrement percé et achevé aux neuf-dixièmes, et il reste à creuser 15 0/0 seulement du canal.

Les travaux avaient été arrêtés en 1885 et repris en 1887 sous le contrôle d'une commission, et au moyen de ressources fournies par un emprunt de 60 millions de francs, contracté à Londres et affecté uniquement à cette œuvre. La réussite de cet important ouvrage est due, en grande partie, à M. Robert Gayol, ingénieur de la ville de Mexico. Un détail que ne manque pas de couleur locale, est que, pour être affectés aux travaux du desséchement, il est prélevé mensuellement 600 000 *f* sur le produit des courses de taureaux.

Emploi de la vapeur à des altitudes élevées. — Nous avons avons indiqué dans le chronique de février, page 201, qu'un article de l'*Engineer*, article que nous y reproduisions, avait valu à ce journal de nombreuses lettres rectificatives ou explicatives, dont quelques-unes soulevaient la question de l'emploi de la vapeur à des altitudes élevées. L'une de ces lettres contient des détails intéressants que nous croyons devoir reproduire.

Le point le plus élevé où soit parvenu un chemin de fer est le tunnel de faite du Central Péruvien, qui traverse la crête de la Cordillère, à 4 793 *m* au-dessus de la mer, altitude presque égale au Mont-Blanc (4 815 *m*). La plupart des locomotives. sinon toutes. de cette ligne brûlent du pétrole, qui est très abondant dans le nord du Pérou, tandis que le charbon doit être importé de l'extérieur à grands frais. Sur le chemin de fer du Sud on emploie des locomotives américaines de Baldwin et de

Rogers, types Mogul ou à dix roues, qui brûlent du charbon d'Australie. Ce dernier chemin de fer, qui relie Mollendo, port du Pacifique, avec le lac Titicaca, a son point culminant à Crucero-Alto à 4 272 *m* d'altitude, et redescend de là vers le lac qui n'est qu'à 3 812 *m*.

Un fait peu connu est que les deux petits vapeurs, le *Yavari* et le *Yapura*, qui naviguent sur le lac depuis plus de vingt-cinq ans, n'ont jamais brûlé d'autre combustible que le crottin de lama desséché, appelé *Taquia*, et d'un usage général dans le pays comme matière de chauffage. Actuellement, les chaudières de la station d'éclairage électrique de La Paz, en Bolivie, ville située à 3 660 *m* d'altitude, ne sont chauffées qu'avec ce combustible.

Le charbon d'Australie coûte 75 *f* la tonne rendu à Pano, au bord du lac Titicaca.

L'auteur de la lettre que nous citons ici a dirigé, sur la rive bolivienne de ce lac, une exploitation comportant des chaudières sous lesquelles on brûlait de la houille revenant à 200 *f* la tonne.

On sait qu'aux altitudes élevées l'eau bout à une température beaucoup plus basse qu'au niveau de la mer (84° à 5 000 *m* au lieu de 100°). Quelques personnes ont cru pouvoir en conclure que, comme il fallait, dans ces conditions, moins de calorique pour obtenir de la vapeur à 1' atmosphère, la production de la force motrice serait plus économique. Il y a là une erreur ou plutôt une confusion. Il faudra un peu moins de chaleur pour produire de la vapeur à 1, 5 ou 10 fois la pression atmosphérique du lieu, mais autant, sinon plus, qu'au bord de la mer, pour avoir cette vapeur à la pression de 1,5 ou 10 *kg* par centimètre carré.

Les voies des chemins de fer en Suisse. — La Suisse est un des pays où l'emploi des traverses métalliques se propage le plus rapidement, peut-être même la proportion de ces traverses y est-elle plus élevée que dans aucun autre, si on en juge par quelques chiffres donnés par le *Schweizerische Bauzeitung*.

Voici pour les cinq lignes principales, Central, Gothard, Nord-Est, Jura-Simplon et Union, les proportions des traverses en métal et en bois, de même que celles des rails en acier et en fer.

	C.	G.	N.-E.	J.-S.	U.	TOTAL
Traverses métalliques	60,1	57,7	39,8	33,1	17,9	41
— en bois . .	37,9	42,3	60,2	66,9	82,1	59
Rails en acier	65,9	95,1	73,9	72,4	75,7	74,8
— fer.	34,1	4,9	26,1	27,6	24,3	25,2

Sur les lignes secondaires on trouve beaucoup moins de traverses métalliques, cependant quelques-unes en emploient et certaines sont montées exclusivement en voies métalliques, entre autres plusieurs lignes à crémaillère, les voies étroites d'Appenzell, le régional de Neuchâtel à Boudry, le chemin de fer électrique de Sissach à Gelterkinden, etc.

Depuis quelques années, l'augmentation de la vitesse et celle du poids des machines a amené l'emploi de rails plus lourds, ainsi le Gothard a posé des rails de 48, 46 et 44 *kg* par mètre courant sur des longueurs

respectives de 43, 41 et 17 *km*; le Jura-Simplon a des rails de 42 *kg* sur 83 *km*.

Il y avait en Suisse, à la fin de 1893, 3576 *km* de chemins de fer de toute nature, dont 2640 de lignes principales exploitées par des administrations suisses, 64 de lignes principales exploitées par des administrations étrangères (Bade, Alsace-Lorraine, P.-L.-M., Italie-Méditerranée, État autrichien), 291 de lignes secondaires à voie normale, 297 de lignes à voie étroite, 141 de chemins de fer mixtes à adhérence et crémaillère, 7 de lignes électriques, 79 de lignes entièrement à crémaillère, 42 de tramways et 15 de funiculaires.

Le nouveau phare de Genève. — On vient d'installer, à l'entrée du port de Genève, sur la jetée des Pâquis, un nouveau phare qui est très probablement le plus important qui existe sur une voie de navigation intérieure et qui présente des nouveautés intéressantes. Voici sur cet appareil quelques détails empruntés au *Journal de Genève*.

La hauteur totale de la construction est de 18,70 *m*; la lumière est à 15 *m* au-dessus du niveau de l'eau. L'appareil lenticulaire adopté est du type de cinquième ordre de la marine, à éclats et éclipses et à quatre panneaux; c'est celui qui donne, pour sa grandeur, la plus forte lumière. Il a été choisi ainsi, afin que ses feux, vus du lac, ne puissent pas être confondus avec les lumières de la ville.

Chaque panneau de l'appareil est composé d'une série de cristaux taillés et disposés de façon à projeter directement devant eux les rayons lumineux qu'ils reçoivent du foyer. Ces rayons forment un faisceau qui, par la disposition des lentilles, est tangent à la surface du lac; ils ont ainsi la plus grande portée possible pour les navigateurs.

Les faisceaux lumineux projetés par chaque panneau ont une intensité de 4000 bougies; ils sont réduits à 570 bougies par la coloration en vert qui est imposée par la convention internationale du 9 juillet 1887, réglant la navigation sur le lac Léman.

La portée optique est de 36 *km* pour l'éclat blanc et de 24 pour l'éclat vert, par un temps moyen, c'est-à-dire lorsqu'une lumière équivalente à 7 1/2 bougies est visible à 7 *km*. Cette portée est réduite de moitié environ par un temps brumeux et presque doublée par un temps très clair. La portée géographique, qui dépend de la hauteur du phare, est de 24 *km* pour un observateur placé à 6 *m* au-dessus du niveau du lac. Le point de tangence du faisceau lumineux avec la surface du lac est à une distance de 15 *km* du phare. La lampe à pétrole qui constitue habituellement le foyer lumineux a été remplacée par un bec de gaz système Auer.

La succession des éclats et éclipses est obtenue en imprimant à tout l'appareil lenticulaire un mouvement de rotation autour de son axe vertical.

A cet effet, il est placé sur un flotteur plongeant dans un bain de mercure et pourvu d'une couronne dentée qui est entraînée par la machine de rotation.

Cette machine est un mouvement d'horlogerie actionné par un contrepoids avec régulateur de vitesse.

L'appareil, tel qu'il est employé dans la marine, comprend les lentilles

et la machine de rotation et nécessite la visite d'un gardien deux fois par jour; le matin pour l'extinction et l'arrêt, et le soir pour l'allumage et la mise en marche.

Dans le phare des Pâquis, qui est souvent inaccessible pendant plusieurs jours consécutifs, ces opérations sont faites par un mécanisme nouveau qui fonctionne automatiquement aux heures fixées et actionne également les rideaux nécessaires pour protéger les appareils contre les rayons du soleil.

Ce mécanisme, inventé par M. l'ingénieur cantonal Charbonnier, sous la direction duquel le phare a été construit, comprend un mouvement moteur qui, par un procédé très simple, agit sur le robinet de gaz, sur le levier déclencheur de la machine de rotation et sur la chaîne actionnant les rideaux. Ce mouvement moteur est mis en marche par deux goupilles fixées à volonté sur un cadran divisé en quarts d'heure, cadran entraîné par une horloge dont il remplace les aiguilles. Cette horloge remplace donc le gardien pour les opérations journalières de mise en marche et d'arrêt et elle ne nécessite sa visite que tous les six jours pour le remontage des poids moteurs.

Disons, en terminant, que l'ancien phare était composé de six becs de gaz brûlant environ 850 *l* à l'heure et donnant une lumière verte d'environ 7 bougies.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

FÉVRIER 1894.

Rapport de M. HIRSCH sur un **surchauffeur de vapeur du système Dusert et Epèche,** construit par M. H. SATRE.

Le surchauffeur Dusert et Epèche se compose d'un court tube en fonte, formant autel en arrière de la grille; il reçoit d'une part, un tuyau qui amène la vapeur saturée de la chaudière, et, d'autre part, un tuyau qui conduit à la machine la vapeur surchauffée. Ce tube a 0,80 *m* de longuenr et les tuyaux, qui sont en acier étiré, sont plongés sur 3 *m* de longueur chacun dans le courant de flammes, les joints sont faits à l'amiante. L'épaisseur des parois de fonte joue ici un rôle important; non seulement elle permet au métal de résister à la pression de la vapeur, malgré la température élevée à laquelle il est porté, mais encore cette masse agit comme magasin de chaleur, et modère les effets des variations dans le débit de vapeur et l'activité du feu ; enfin ce gros tube est épais et robuste. Disons en passant que, par cette action et par sa construction, cet appareil offre une grande analogie avec le surchauffeur employé, il y a déjà bien des années, par M. Testud de Beauregard, qui n'était autre qu'un gros bloc de fonte placé dans le foyer, et percé de nombreux trous dans lesquels circulait la vapeur.

L'appareil de MM. Dusert et Epèche a été soumis, dans les ateliers de M. Satre, à des expériences dont le rapport de M. Hirsch reproduit les données essentielles et les résultats. Un premier essai a été fait sur un surchauffeur installé dans le foyer de la chaudière semi-tubulaire de l'atelier, et la vapeur surchauffée alimentait la machine compound-tandem à condensation, d'environ 80 *ch*, de l'atelier. Avec de la vapeur à 6 *kg*, la machine faisant 48,3 *ch*, on a dépensé avec le surchauffeur 6,83 *kg* d'eau d'alimentation par cheval indiqué et par heure, et, sans surchauffeur, à la même pression, la machine faisant 47,4 *ch*, 8,44 *kg* d'eau par cheval indiqué et par heure; bénéfice résultant de l'emploi du surchauffeur 19 0/0.

Un second essai a été fait sur une machine demi-fixe a chaudière tubulaire en retour, sans détente ni condensation. Avec 6 *kg* de pression, on a, avec surchauffe, à 155 tours par minute, développé 25,24 *ch* indiqués avec 12,67 *kg* d'eau d'alimentation par cheval indiqué et par heure. A la même pression, sans surchauffe, à 142 tours, la machine a fait 16,04 *ch* indiqués, avec une consommation d'eau de 20 *kg* par cheval; économie résultant de l'emploi du surchauffeur 36 1/2 0/0.

Les résultats de ces essais sont, certainement, très satisfaisants, nous

serions tentés de dire trop satisfaisants ; ils indiquent, en effet, surtout le dernier, des anomalies qui nous semblent faciles à expliquer. La surchauffe est d'autant plus efficace, a-t-on souvent remarqué, que la machine à laquelle elle est appliquée fonctionne dans de plus mauvaises conditions. Or, les conditions sont aussi mauvaises que possible dans la première des machines essayées. C'est une machine de 80 *ch* donnant à peu près la moitié de sa puissance, et marchant avec une détente exagérée, surtout au premier cylindre. D'après les données du rapport, l'admission sans surchauffe était de 11 0/0 de la course au petit cylindre, avec surchauffe de 13. Le rapport du volume des cylindres étant de $\left(\frac{600}{340}\right)^2 = 3{,}11$, c'est-à-dire déjà assez grand, la détente totale correspondait à plus de 28 volumes ou une admission de 3 1/2 0/0 de la course ; comme, de plus, la plus grande partie de la détente se produisait au petit cylindre, il devait s'y faire une abondante condensation, et l'effet de la vapeur surchauffée devait être très favorable. Les mauvaises conditions de distribution de la machine sont indiquées par la grande inégalité de travail des deux cylindres, 32,7 *ch* au petit et 15,6 au grand. Cette inégalité n'a pas d'inconvénient pour la régularité, puisqu'il s'agit d'une machine-tandem, mais elle en a beaucoup au point de vue de la division des pressions et des températures dans les deux cylindres.

On peut expliquer par la même raison l'énorme économie obtenue dans le second cas où il s'agissait d'une machine sans détente. Dans ce genre de machine, la vapeur condensée pendant l'admission n'est plus vaporisée que pendant l'échappement ; elle est donc totalement perdue, et la surchauffe prévenant ou atténuant beaucoup cette condensation donnera une économie considérable ; cet effet est surtout mis en évidence par l'augmentation considérable du travail, l'ordonnée moyenne est de 2,25 *kg* avec surchauffe, et de 1,75 sans surchauffe. La surchauffe serait donc un remède efficace pour ce genre de machines si, fort heureusement, on ne les rencontrait plus qu'exceptionnellement. Il serait intéressant de voir reproduire les expériences du surchauffeur dont il est question sur des machines fonctionnant dans des conditions moins défavorables que celles que nous venons d'indiquer.

Rapport de M. Ed. Simon, sur le **traité de la ramie**, par M. F. Michotte.

L'ouvrage de M. Michotte, *Traité scientifique et industriel de la ramie*, est, dit le rapporteur, des plus utiles à connaître, c'est une sorte d'enquête au triple point de vue de la culture de la plante, des moyens de décortication de la tige et des procédés de dégommage de la fibre. Le rôle de la ramie a été tour à tour exagéré et rabaissé outre mesure, il est, en réalité, assez modeste et, bien que, comme le fait observer spirituellement M. Michotte, « l'application la plus importante de la ramie qui ait été faite jusqu'à ce jour, c'est son emploi pour la décortication des capitalistes », on peut lui assigner une place honorable dans l'échelle des textiles végétaux, si on arrive à vaincre les difficultés de la décortication mécanique ; seulement elle ne remplacera jamais aucun autre textile, malgré la prétention souvent émise, en sa faveur, de les remplacer tous.

Rapport de M. le général SEBERT sur un **cryptographe chiffreur** présenté par M. Ch. GAVRELLE, commissaire de police de la Ville de Paris.

Cet appareil est destiné à faciliter la correspondance chiffrée et à en assurer le secret; l'auteur s'est proposé de trouver un procédé simple et pratique qui, sans convention préalable entre les correspondants, permette au chiffreur de modifier le texte cryptographique chaque fois que cela est nécessaire pour sauvegarder le secret de ce texte. Il a établi dans ce but un appareil dont l'ensemble forme une sorte de disque portant d'un côté trois alphabets servant au montage de l'appareil, et de l'autre deux alphabets, l'un intérieur, l'autre extérieur, servant au chiffrement et au déchiffrement. L'alphabet intérieur constitue un véritable chiffre carré, modifiable de vingt-six facons différentes, base de la méthode, connue sous le nom de tableau de Vigenère.

Pour faire usage de l'instrument, les correspondants n'ont qu'à convenir de deux mots quelconques qui doivent constituer une double clé. Avec le premier mot, le chiffreur monte l'instrument; avec le second, il chiffre sa dépêche en faisant usage de deux alphabets intérieur et extérieur. Le chiffrement consiste à remplacer successivement les lettres du texte clair prises sur l'alphabet extérieur par celles qui leur correspondent sur l'alphabet intérieur. Le déchiffrement s'opère en procédant de la façon inverse, c'est-à-dire en remplaçant les lettres du texte chiffré prises sur l'alphabet intérieur par celles qui leur correspondent sur l'alphabet extérieur.

Cet appareil présente de réels avantages au point de vue de la commodité et de la simplicité d'emploi, comme à celui de la sûreté du secret des correspondances diplomatiques et militaires, mais il n'a pas le même intérêt pour les correspondances commerciales et privées. En tout cas, c'est une solution heureuse et élégante d'un problème qui a déjà excité, au plus haut degré, la sagacité des savants et des inventeurs.

Rapport de M. G. ROY sur l'**ouvrage de M. Ed. Faucher,** intitulé **l'Industrie linière.**

Cet ouvrage comprend l'histoire de la Chambre de commerce de Lille depuis son origine, une étude spéciale de l'industrie linière et des tableaux comparatifs des importations et exportations des lins et chanvres à diverses époques.

Etude sur l'**influence des matières salines contenues dans les eaux de maltage et de brasserie,** par M. E. FLEURENT, préparateur du cours de chimie industrielle au Conservatoire des Arts et Métiers.

La nature des eaux employées au maltage et au brassage de l'orge influe sur la composition minérale de la bière finie et on a souvent attribué à la qualité des eaux de certaines localités la qualité des bières qu'on y fabrique.

M. Matthews a étudié cette question dans deux importants mémoires dont la note de M. Fleurent expose les résultats les plus intéressants qui

sont : 1° l'influence des différents sels sur la quantité d'extrait ; 2° l'action de ces sels sur la quantité de matières albuminoïdes coagulées ; 3° leur influence sur l'action saccharifiante de la diastase ; 4° leur influence sur la formation des mouts.

Ces points ont été élucidés par des expériences spéciales et jettent déjà une certaine lumière sur bien des questions obscures jusqu'ici. Il est démontré une fois de plus que la qualité de la bière n'est pas l'effet du hasard, mais que le brasseur doit avoir les connaissances chimiques comme guide exclusif de sa fabrication.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSEES

FÉVRIER 1894

Expériences nouvelles sur l'écoulement des déversoirs (4me article), par M. Bazin, inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Cette quatrième partie est consacrée aux expériences sur les déversoirs à crête mince, les déversoirs avec crête en biseau, à l'étude des nappes noyées influencées par l'aval ; à celle des profils des nappes, de la répartition des vitesses et des pressions, etc. L'auteur étudiera dans une cinquième et dernière partie, les déversoirs à seuil épais employés dans les applications. Le quatrième fascicule, dont nous nous occupons ici, est accompagné de tables très étendues et de tableaux graphiques.

Note sur un **essai de pavés en asphalte comprimé,** par MM. Heude, ingénieur en chef et Levesque, ingénieur des Ponts et Chaussées.

La Société civile des mines de bitume et d'asphalte du Centre a eu l'idée de fabriquer des pavés composés de poudre chauffée à 120° et comprimés à la presse hydraulique, de manière à obtenir un produit homogène. Les auteurs de la note ont fait l'essai de ce pavage à Orléans sur la route nationale n° 152, dans une longueur de 75 *m*.

La circulation, sur ce point, est assez considérable ; il y passe presque journellement des batteries d'artillerie. Les pavés ont $0,20 \times 0,10 \times 0,05 m$, ils ont été posés à plat sur une couche de mortier frais de ciment de 15 *mm* d'épaisseur. Le mètre superficiel revient posé à 13,50 *f*. Depuis le 25 juin 1893, on n'a constaté aucune trace d'usure ou de déformation. Par les grandes chaleurs de l'année dernière, les roues des voitures n'ont pas laissé de trace et les fortes gelées n'ont pas amené de dislocation. Au point de vue du glissement, les résultats sont très satisfaisants. On ne peut toutefois encore rien affirmer au point de vue de la durée, bien que l'usure paraisse nulle jusqu'ici.

ANNALES DES MINES

3e livraison de 1894.

Les eaux minérales de Pfæfers-Ragatz (canton de Saint-Gall, Suisse), par M. de Launay, Ingénieur des mines, Professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Après un historique assez développé où se trouvent des détails très curieux sur la forme absolument primitive des installations balnéaires, il y a deux ou trois siècles et même plus récemment, la note étudie la constitution géologique de la région de Pfæfers, qui se rattache intimement à l'histoire de la vallée du Rhin, comme l'a démontré le savant géologue, M. Heim. La modification du lit du Rhin, à une époque lointaine, a amené, comme conséquence, le creusement des vallées secondaires par un travail d'érosion, dont un des résultats est constitué par les gorges actuelles de Pfæfers, où les eaux ont scié verticalement les schistes en laissant, des deux côtés, les parois abruptes. Il est à noter que ce travail se continue tous les jours. On a, depuis qu'on observe les sources, constaté nettement l'abaissement progressif du lit du torrent, accompagné par l'abaissement correspondant de la source thermale qui vient toujours sourdre au point le plus bas.

Le débit des sources est en relation directe avec l'abondance des neiges sur les montagnes voisines. Les sources de Pfæfers sont, en effet, de celles où l'origine superficielle des eaux s'est trouvée le plus clairement démontrée. Quant à leur composition chimique, Paracelse en avait, dès le XVIe siècle, constaté la très grande pureté, elles ne donnent presque aucun résidu. Un litre contient 3 décigrammes de matières fixes, dont 1,3, soit la moitié environ, de carbonate de chaux, 1/2 de carbonate de magnésie, et à peu près autant de chlorure de sodium. Il y a en quantité notable, de l'acide carbonique à l'état libre ou demi-libre, de l'oxygène et de l'azote en proportion supérieure, 16 0/0 du premier et 24 et 60 des deux autres gaz. En somme, ces eaux sont moins minérales que certaines eaux douces. Elles sortent à la température de 37,5 à 38,5 degrés centigrades.

Le captage de ces sources a présenté certains caractères spéciaux sur lesquels s'étend la note. On a eu surtout à se préoccuper d'empêcher les énormes pertes d'eau qu'amenait la variation du lit de la Tamina, pertes qu'on a réussi à prévenir par des travaux très importants, par lesquels on a été capter les sources dans le lit même du torrent, après avoir mis celui-ci à sec. Ces derniers travaux datent de 1859. Les eaux sont conduites à Pfæfers dans des tuyaux de bois, pour prévenir la perte de chaleur ; ces tuyaux sont formés de pièces assemblées comme les douves d'un tonneau et cerclées en fer.

Note sur les **boîtes à huile à doubles plans inclinés** et l'attelage convergent des locomotives pour voies à profil accidenté, par

M. E. Polonceau, Ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie d'Orléans.

Ces boites employées sur les locomotives à six roues accouplées et un essieux porteur à l'avant, qui font le service des lignes du Plateau central entre Clermont, Tulle, Limoges et Montluçon, sont destinées à donner un déplacement selon le rayon de la courbe à l'essieu porteur. Le principe sur lequel repose leur construction est l'emploi d'un double plan incliné dans le sens transversal et dans le sens longitudinal. La combinaison des effets de ces deux déplacements produit la convergence automatique; elle est déterminée par la différence des chemins parcourus par les deux roues, laquelle résulte de la conicité des bandages. Les plans inclinés ramènent automatiquement l'essieu à sa position normale dans les parties droites de la voie.

L'application de ces boites est complétée par l'emploi, entre la machine et le tender, d'un attelage convergent, qui a pour but de réduire la pression exercée latéralement par le boudin de la roue d'avant de la locomotive sur le rail extérieur de la voie. Cet attelage comporte un guide circulaire, dont le centre de courbure est sur la verticale du centre de gravité de la machine et un galet qui peut se déplacer librement sur ce guide, et qui sert de point d'attache au tender. La locomotive porte, d'ailleurs, des tampons secs dont les surfaces sont inclinées tangentiellement à celle d'un cylindre ayant pour axe la verticale passant par le centre de gravité de la machine et le même centre de courbure, par conséquent, que l'attelage convergent. On a constaté, avec ces modifications, une grande amélioration dans l'usure des boudins. Avec les plans inclinés simples et l'attelage ordinaire, les bandages effectuaient, avant le désembattage, un parcours de 50 000 *km* avec quatre rafraichissages, tandis qu'ils fournissent, avec les plans inclinés doubles et l'attelage convergent, 300 000 *km*, soit au moins six fois plus.

Des expériences ont été faites entre Ussel et Clermont au moyen d'appareils inscrivant automatiquement, sur un rouleau de papier, les déplacements longitudinaux des coussinets et les déplacements transversaux de l'attelage convergent. Ces expériences ont démontré que l'essieu d'avant prend dans les courbes une position radiale, et que les doubles plans inclinés fonctionnent très régulièrement.

Aperçu général sur l'**Industrie minérale de la Russie**, par M. A. de Koppen, membre du Conseil général des mines de Russie.

Ce mémoire très dévéloppé, dont il n'est donné dans cette livraison que la première partie, débute par un aperçu historique sur les modifications successives apportées à l'organisation administrative et législative des mines en Russie, organisation qui ne remonte pas au delà du xviie siècle. Ce n'est qu'au temps de Pierre le Grand qu'ont été installées de vraies usines et qu'a été instituée la première administration spéciale chargée de gérer cette industrie, sous le nom de Bureau des affaires minières. Cet aperçu se termine par l'exposé de l'organisation administrative et législative actuelle des mines en Russie, et quelques détails sur les écoles des mines.

L'auteur examine ensuite, en détail, l'exploitation de l'or, du platine, de l'argent, du cuivre, du plomb, du zinc, de l'étain, du mercure, du manganèse et du cobalt et nickel, puis l'industrie sidérurgique. On trouvera des détails très intéressants sur le développement successif et l'état actuel de l'exploitation de ces divers métaux.

3e LIVRAISON DE 1894

Sur un **gisement de phosphate de chaux et d'alumine** contenant des espèces rares ou nouvelles et sur la genèse des phosphates et nitres naturels, par M. Armand GAUTIER, membre de l'Institut.

Le gisement dont il s'agit se trouve dans la Grotte de la Minerve, une de celles qu'on rencontre sur les rives de la Cesse, à l'extrémité sud-ouest du département de l'Hérault. L'auteur a constaté qu'il existait dans la galerie de cette grotte, non seulement une curieuse collection d'animaux quaternaires, de silex taillés, de poteries préhistoriques, mais encore de précieux dépôts de phosphates terreux ou concrétionnés, dont la masse connue, calculée seulement pour la profondeur de 5 à 16 *m* à laquelle se sont arrêtés les puits de recherche, dépasse aujourd'hui 120 000 *t*.

Le mémoire étudie les questions relatives à l'origine des phosphates de chaux naturels et les conditions de leur formation, ainsi que la formation des phosphates naturels d'alumine, de fer, etc., pour la nitrification qui accompagne la phosphatisation, car la production des salpêtres potassique et calcaire et la formation des nitrates de soude naturels sont entièrement liées à celle des phosphates.

Note sur l'**appareil Flamache,** pour le cantonnement des trains, par M. BAUGEY, ingénieur des mines.

L'appareil Flamache a été mis en service, d'abord à titre d'essai, puis ensuite à titre définitif sur le réseau des chemins de fer de l'État, sur les sections à double voie de Loudun à Arçay et de Beillant à Pons.

L'appareil comprend un signal du type ordinaire, un mât à deux grandes ailes. La voie est normalement fermée. Chaque aile est manœuvrée par un levier enclenché sur la manivelle de manœuvre de l'appareil électrique; ce levier est relié à un mécanisme comprenant un taquet qui s'oppose normalement au renversement du levier, c'est-à-dire à l'effacement du bras sémaphorique correspondant. Mais un disque porté par la manivelle de manœuvre de l'appareil électrique porte une encoche qui permet la manœuvre lorsqu'elle se trouve en face du taquet ci-dessus. On ne pourra donc ouvrir la voie que lorsque ce disque, et par suite la manivelle, occupera une position déterminée. De plus, lorsque la voie sera ouverte, le taquet immobilisera la manivelle dans cette position, de sorte que, pour la manœuvrer, il faudra préalablement fermer la voie.

L'appareil de communication comprend : 1° un transmetteur, un récepteur et un commutateur; 2° des indicateurs, des sonneries et une pendule.

Il serait difficile d'expliquer les dispositions de détail de ces parties,

sans le secours des figures qui accompagnent cette note. Elle conclut en indiquant que l'appareil Flamache paraît réaliser toutes les conditions formulées par la circulaire ministérielle du 12 janvier 1888; il est simple et il fonctionne bien. En outre, il se prête avec une facilité relative à la solution du problème de cantonnement dans divers cas particuliers, voie unique, bifurcations, etc.

L'industrie du pétrole aux États-Unis, par MM. Riche, membre de l'Académie de médecine, et Roume, directeur du commerce extérieur au Ministère du commerce et de l'industrie.

Dans cette note, faite à la suite d'une mission aux États-Unis, les auteurs passent en revue, dans un premier chapitre, les gisements de pétrole, la nature des huiles extraites, la production et les prix. Un second chapitre est consacré aux questions relatives au raffinage, aux rendements et aux produits marchands. La troisième partie se rapporte aux applications industrielles autres que l'éclairage direct et la fabrication des huiles de lubrification. On y trouvera des renseignements intéressants sur l'emploi des huiles brutes ou des produits du traitement de ces huiles pour la production de la vapeur, la fabrication du gaz d'éclairage, l'enrichissement du gaz à l'eau, le chauffage des foyers métallurgiques, des fours de verrerie, etc., les moteurs à pétrole dont il existe déjà un grand nombre de systèmes; enfin certains résidus sont employés pour le pavage, mélangés avec de l'asphalte de la Trinidad ou des goudrons de houille.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

RÉUNION DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 3 mars 1894.

Communication de M. Leproux sur les **machines à vapeur à l'Exposition de Chicago.**

Les machines à vapeur exposées dans le palais des machines à Chicago étaient très nombreuses; la vapeur leur était fournie par une batterie de 54 chaudières correspondant à peu près à 23 000 *ch*. L'auteur se propose de borner son étude à celle des machines destinées à la production de la lumière électrique qui représentent à peu près les deux tiers de la puissance totale des moteurs exposés.

Ces machines appartiennent à deux catégories distinctes selon que la variation du travail à fournir est relativement faible et graduée, comme dans les applications de l'éclairage, ou considérable et instantanée, comme lorsqu'il s'agit de fournir l'énergie pour la traction des tramways. Dans ce dernier cas, il faut compter uniquement sur l'action du régulateur et employer des dispositions *ad hoc*.

Il y avait parmi ces machines un grand nombre de moteurs Corliss, dont le plus grand, de 2 000 *ch* à quadruple expansion, exposé par

E.-P. Allis, de Milwaukee. Ce sont à peu près les seuls à déclic, les autres machines ont des distributeurs à tiroirs, les seules, du reste, compatibles avec les vitesses considérables de rotation.

Parmi ces dernières, se trouvent les machines Westinghouse entièrement enveloppées, et dont les organes tournent dans un bain d'huile, les machines Buckeye, Mac-Ewen, Russel, Dick et Church, Ideal, etc.

On peut indiquer comme caractères distinctifs de ces moteurs, l'emploi de la détente en cylindres successifs de plus en plus répandu, la simplicité des organes de distribution cylindriques ou plans avec compensateurs, les régulateurs agissant directement sur les excentriques, la grande sensibilité donnée à ces régulateurs et la forme des bâtis qui se rapproche presque toujours de celle dite à baïonnette, et, en général, la simplification de la disposition générale et de la construction.

La note se termine par quelques détails sur les chaudières de l'Exposition. Ces chaudières, comme on l'a déjà indiqué, étaient au nombre de 54, dont 10 du type Babcock et Wilcox.

L'ensemble représentait 9 300 m^2 de surface de chauffe capables d'évaporer par heure 250 000 *l* d'eau. On brûlait exclusivement des combustibles liquides, à raison de 20 à 25 000 *l* à l'heure. C'étaient des résidus de distillation de densité élevée, arrivant directement des usines par une conduite de 0,15 *m* de diamètre. L'injection de l'huile se faisait au moyen d'injecteurs à vapeur de types divers, sous une voûte établie dans les foyers.

INSTITUT ROYAL DES INGÉNIEURS NÉERLANDAIS (1)

LIVRAISON DU 6 AVRIL 1894

Séance du 15 février 1894.

Communication de M. Symons sur le rôle de l'ingénieur sanitaire. — L'auteur rappelle l'intérêt que les législateurs de l'antiquité ont porté aux questions d'hygiène; puis il retrace les progrès de cette science dans notre siècle en les rattachant aux congrès d'hygiène et de salubrité avec les expositions qui les ont accompagnés. Il émet le regret de ne pas voir encore partout l'hygiène avoir la place qui lui appartient dans l'instruction technique et les ingénieurs leur voix dans les conseils sanitaires institués par les lois néerlandaises. Il rappelle enfin qu'on a émis l'idée de construire une ville modèle sous le rapport de l'hygiène pour en faire un des clous de l'Exposition de Paris en 1900.

Communication de M. Huet sur M. Fynje van Salvedra. — M. Huet retrace la carrière de M. Fynje, un des vétérans les plus distingués du Waterstaat néerlandais, dont il a traversé tous les grades. Un des plus grands mérites de cet ingénieur est l'invention de la pompe qui porte son nom, et le rôle important qu'il a joué dans toutes les questions relatives à l'épuisement de l'eau des polders. Ce sujet l'a occupé jusqu'à sa mort survenue en 1889.

(1) Résumé communiqué par M. J. de Koning.

Livraison du 11 avril 1894.

Étude de M. König sur la construction d'une pile de pont, avec fondation à l'air comprimé dans le canal d'Amsterdam à la mer du Nord. -- L'auteur qui a surveillé les travaux en donne une description détaillée. Ils ont été exécutés par des entrepreneurs français, MM. Mortier et Thonnard, de Saumur.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N° 14. — 7 *avril* 1894.

Établissements d'instruction technique en Amérique, par A. Riedler.

Le nouveau pont de la Tour, à Londres, par G. Barkhausen.

Machines-outils à l'Exposition de Chicago en 1893, par W. Hartmann *(suite)*.

L'exploitation des mines d'or au Transvaal (Afrique méridionale) et ses rapports avec l'industrie allemande de la construction des machines, par Schweisser.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Caisses de secours pour les ingénieurs. — Notes de voyage en Amérique.

Bibliographie. — Thermodynamique, par H. Poincaré.

Variétés. — Choix des fontes pour la fonderie.

Correspondance. — Propulseur à turbine.

N° 15. — 14 *avril* 1894.

Les locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite)*.

Machines-outils à l'Exposition de Chicago en 1893, par W. Hartmann *(suite)*.

L'exploitation des mines d'or au Transvaal (Afrique méridionale) et ses rapports avec l'industrie allemande de la construction des machines, par Schweisser *(fin)*.

Transformation d'un ancien tour à roues pour le commander par l'électricité, dans les ateliers du chemin de fer badois à Carlsruhe, par A. Courtin.

Machines et chaudières du croiseur-torpilleur *Satellit.*

Joints soudés dans les chaudières, par O. Knaudt.

Groupe du Rhin inférieur. — Expertises techniques.

Variétés. — Emploi du pétrole en Amérique pour le nettoyage des chaudières. — Exposition d'appareils pour gaz et eaux à Carlsruhe.

N° 16. — 21 *avril* 1894.

Machines-outils à l'Exposition de Chicago en 1893, par W. Hartmann *(suite)*.

Appareil de Braun pour la mesure du nombre de tours des machines, par C. Fehlert.

Machines pour l'industrie du papier à l'Exposition de Chicago en 1893, par F. Correll.

Chemins de fer électriques avec conducteur aérien, par C. Rasch.

Transporteurs à chaines en Amérique, par M. Westmann *(fin)*.

Groupe de Thuringe. — Moteur Schmidt. — Soudures électriques.

Variétés. — Bases du développement industriel de la Prusse orientale. — École industrielle de Hagen. — Association technique allemande.

N° 17. — 28 *avril.*

Installations frigorifiques en Amérique, par M. F. Gutermuth.

Établissements d'instruction technique en Amérique, par A. Riedler *(suite)*,

Le nouveau pont de la Tour à Londres, par G. Barkhausen *(suite)*.

Groupe de Bavière.— Emploi de la surchauffe dans les machines à vapeur.

Variétés. — Soupape de sûreté de Crosby pour vapeur et eau. — Cinquantenaire de la fondation des fabriques de machines de Sachsenberg frères et de C. Hoppe.

Correspondance. — Machines-outils en Amérique.

BIBLIOGRAPHIE

Traité pratique de l'Établissement, de l'Entretien et de l'Exploitation des chemins de fer, par Ch. GOSCHLER. — Troisième Édition, revue, corrigée et augmentée par P. GUILLEMANT. — Paris, E. Bernard et Cie, éditeurs, 53 *ter*, quai des Grands-Augustins.

Notre collègue M. Guillemant a bien voulu offrir à la Société la partie parue de cet important ouvrage qui constitue une publication des plus sérieuses, et sur lequel nous désirons appeler l'attention de nos collègues à plusieurs points de vue.

La première édition du *Traité pratique de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer* a été publiée par Goschler de 1865 à 1868 ; elle comportait quatre volumes et un atlas, et comprenait le service de la voie, celui du matériel et de la traction, l'exploitation et l'administration (1).

L'auteur expliquait, dans la préface où il exposait le plan de son ouvrage, que l'art d'exploiter les chemins de fer trouverait un auxiliaire utile dans un travail réunissant, sous une forme méthodique, les questions complexes qui constituent l'ensemble des services de l'entretien et de l'exploitation. Un succès considérable vint confirmer ces prévisions, et, l'ouvrage à peine terminé, l'auteur dut commencer la seconde édition qui parut de 1871 à 1882.

Les livres de ce genre sont condamnés à suivre l'actualité, on ne peut les laisser vieillir; les principes ne changent pas, mais leur application se modifie et les perfectionnements se succèdent avec une très grande rapidité dans l'industrie des chemins de fer. Goschler préparait donc une troisième édition lorsque la mort vint le surprendre en 1889, au moment même de l'Exposition universelle où l'industrie dont nous parlons était si brillamment représentée.

Nul n'était plus à même que Goschler de mener à bien la rédaction d'un ouvrage de cette nature. Il avait fait toute sa carrière dans les chemins de fer. D'abord Ingénieur à la Compagnie de Strasbourg à Bâle, puis à celle de l'Est, il avait été ensuite directeur d'une importante ligne belge et avait passé par la construction du matériel de chemins de fer. Il avait enfin rempli de hautes fonctions dans le contrôle et la construction des voies ferrées en Turquie. Les nombreuses relations qu'il s'était faites dans ses positions successives, ses fréquents voyages et sa parfaite connaissance de la langue allemande, lui avaient permis de recueillir quantité de renseignements précieux qu'il a pu ajouter à son expérience personnelle de la construction et de l'exploitation des chemins de fer, tant en France qu'à l'étranger.

(1) Un compte rendu très détaillé du premier volume de cette première édition a été donné dans la séance du 21 avril 1865 par notre Collègue et ancien Président, M. Love.

Il nous sera permis d'exprimer ici l'opinion qu'un homme qui a joué un rôle considérable dans notre Société où, entré presque à la fondation, il a été successivement secrétaire, membre du Comité, vice-président, et où il eût vraisemblablement pu prétendre au fauteuil de la présidence si les soins de sa santé ne l'eussent, déjà plusieurs années avant sa mort, éloigné de Paris, qui a enrichi nos bulletins de nombreux et importants mémoires sur les questions de métallurgie et de chemins de fer, méritait mieux que la simple mention de sa mort au chapitre des décès dans le discours présidentiel de fin d'année. Par contre, l'Association amicale des anciens élèves de l'École Centrale dont Goschler avait été président en 1876-77, lui a consacré une notice nécrologique développée dans le bulletin de septembre-octobre 1889, au lendemain même de sa mort.

Notre collègue, M. P. Guillemant a pris en main la tâche de publier une troisième édition de l'ouvrage de Goschler, tâche à laquelle il était parfaitement préparé par ses études antérieures et l'expérience qu'il avait acquise dans la pratique de la construction et de l'exploitation des voies ferrées. Cette troisième édition a reçu, à juste titre, le nom de *Traité de l'Établissement, de l'Entretien et de l'Exploitation des chemins de fer*, car, si ce n'est pas à proprement parler un traité de construction, on conçoit qu'il est bien difficile d'enseigner les méthodes d'entretien d'un objet ou d'un ensemble d'objets si on ne fait connaître la manière dont ces objets sont établis.

Le tome premier, que nous présentons aujourd'hui à nos collègues, est en deux fascicules, formant ensemble près de 750 pages et illustrés par plus de 300 figures dans le texte. Ce volume comprend la voie proprement dite et est divisé en sept chapitres dans lesquels sont traitées, d'une manière très détaillée, comme nous allons le voir, les matières qui rentrent dans cette partie.

Le premier chapitre est consacré aux généralités relatives aux chemins de fer; il examine sommairement les questions de tracé, avant-projet, fixation des déclivités maxima, et rayons minimum, emplacement des gares et stations, etc.

Le chapitre II est consacré aux terrassements; on y passe en revue les travaux préparatoires, piquetage, tracé des courbes, raccordements, etc., l'exécution des tranchées et remblais, l'entretien de ces ouvrages, l'entretien de la plate-forme et des chemins d'accès et cours des stations.

Le chapitre III s'occupe des ouvrages d'art au point de vue de la construction et de l'entretien. On y trouve, après quelques indications sommaires sur les projets, prescriptions administratives, etc., des renseignements très complets sur la nature et l'emploi des matériaux et la construction proprement dite des ouvrages, et sur leur entretien. Les méthodes décrites sont illustrées par l'application à des travaux choisis parmi les plus remarquables. Une partie intéressante est surtout celle qui a trait à des opérations qu'on a dû faire souvent en présence des évolutions amenées par le temps et les progrès des chemins de fer, le remplacement d'ouvrages ou la substitution d'un mode de construction à un autre, sans interruption de la circulation, par exemple la substitution d'un pont métallique ou d'un pont en maçonnerie à un pont en bois, la reconstruction des tunnels, etc.

Le chapitre IV a pour objet les cultures et défenses du chemin, et examine les semis, gazonnements et plantations, les clôtures et barrières de passage à niveau.

Le chapitre V a une grande importance, il traite de la voie proprement dite. Après avoir discuté la question du choix d'un écartement de voie et passé en revue les causes diverses qui exercent leur influence sur ce choix, l'auteur examine les divers systèmes de voies, voies à supports isolés, voies à supports conjugués, voies à supports continus et voies sans support avec les très nombreux types qu'on trouve dans chaque classe, et discute les avantages et inconvénients de chacun. On trouve traité, dans ce même chapitre, la question du profil transversal de la voie.

Le matériel de la voie fait l'objet du chapitre VI. On y étudie les parties constitutives de la voie; d'abord le ballast, sa nature, sa préparation, la manière de l'approvisionner et de le déposer sur la voie, ensuite les supports des rails, c'est-à-dire, d'une manière générale, les traverses, leur forme, le choix des essences, leur réception, etc. Le rail occupe naturellement une place en rapport avec l'importance de son rôle; le choix du type, la forme, la matière, la fabrication, le finissage, la réception, les épreuves, les garanties, etc., y sont étudiés avec tous les détails nécessaires; il en est de même en ce qui concerne les attaches des rails, telles que coussinets, coins, éclisses, selles, crampons, tire-fonds, boulons d'éclisses, etc., la fabrication et la réception de ces pièces.

Le chapitre VII, le dernier de ce volume, est consacré à la préparation des traverses en bois, à celle des rails et attaches, à la pose et enfin à l'entretien et à la réfection de la voie.

Le volume dont nous nous occupons se termine par des annexes qui comprennent des documents et renseignements utiles, spécifications diverses, cahiers des charges pour la fourniture de matières, séries de prix, détails de l'établissement des prix de revient de la voie, etc. Nous serions tentés ici de faire une toute petite critique; l'auteur a jugé utile de joindre à ces annexes une comparaison des mesures françaises et étrangères; l'intention était bonne, on a toujours à faire des conversions de mesures anglaises, russes, etc., en françaises, mais on n'a plus, à moins qu'il ne s'agisse d'un passé déjà éloigné, à avoir affaire à des mesures prussiennes, wurtembergeoises, saxonnes, etc., et contrairement à ce qui est dit au bas de la page 620, l'administration des chemins de fer allemands n'emploie plus, depuis près de vingt ans, pour bases de ses statistiques annuelles, le pied, le ruthe, le klafter, le meile, le thaler et autres mesures archaïques, elle n'emploie plus que le kilomètre, le mètre, le kilogramme et le mark. Il est probable que cette note aura été glissée par inadvertance d'une des précédentes éditions dans celle-ci.

Dans un ordre d'idées analogue, nous appellerons l'attention de l'auteur sur la convenance de modifier la rédaction de certains passages où sont citées des lignes qui ont eu une grande réputation jadis, mais qui, englobées dans des réseaux d'États, ne portent plus leurs anciennes dénominations depuis longtemps: « le *Cologne-Minden* emploie », ou bien « on rencontre au *Mein-Weser* et au *Berlin-Magdebourg* », sont des phrases

auxquelles l'emploi du présent donne un air de vieillesse qu'il est facile d'éviter. Ce n'est qu'un très petit détail, mais qui a son importance.

Les parties à paraître successivement comprendront le matériel de la voie, les stations et l'organisation des services de la voie, le matériel roulant, la traction et l'exploitation et administration des chemins de fer. L'ensemble de l'ouvrage comprendra 7 volumes avec 2 000 figures dans le texte et 4 atlas contenant 100 à 120 planches.

Nous ne doutons pas que la nouvelle édition de l'ouvrage de Goschler, dont M. Guillemant aura fait un ouvrage nouveau, n'obtienne le succès des précédentes, et nous la recommandons à l'attention des nombreux membres de notre Société dont les questions qui se rattachent aux chemins de fer font la spécialité.

Pour la Chronique, les Comptes rendus et la Bibliographie :

A. MALLET.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

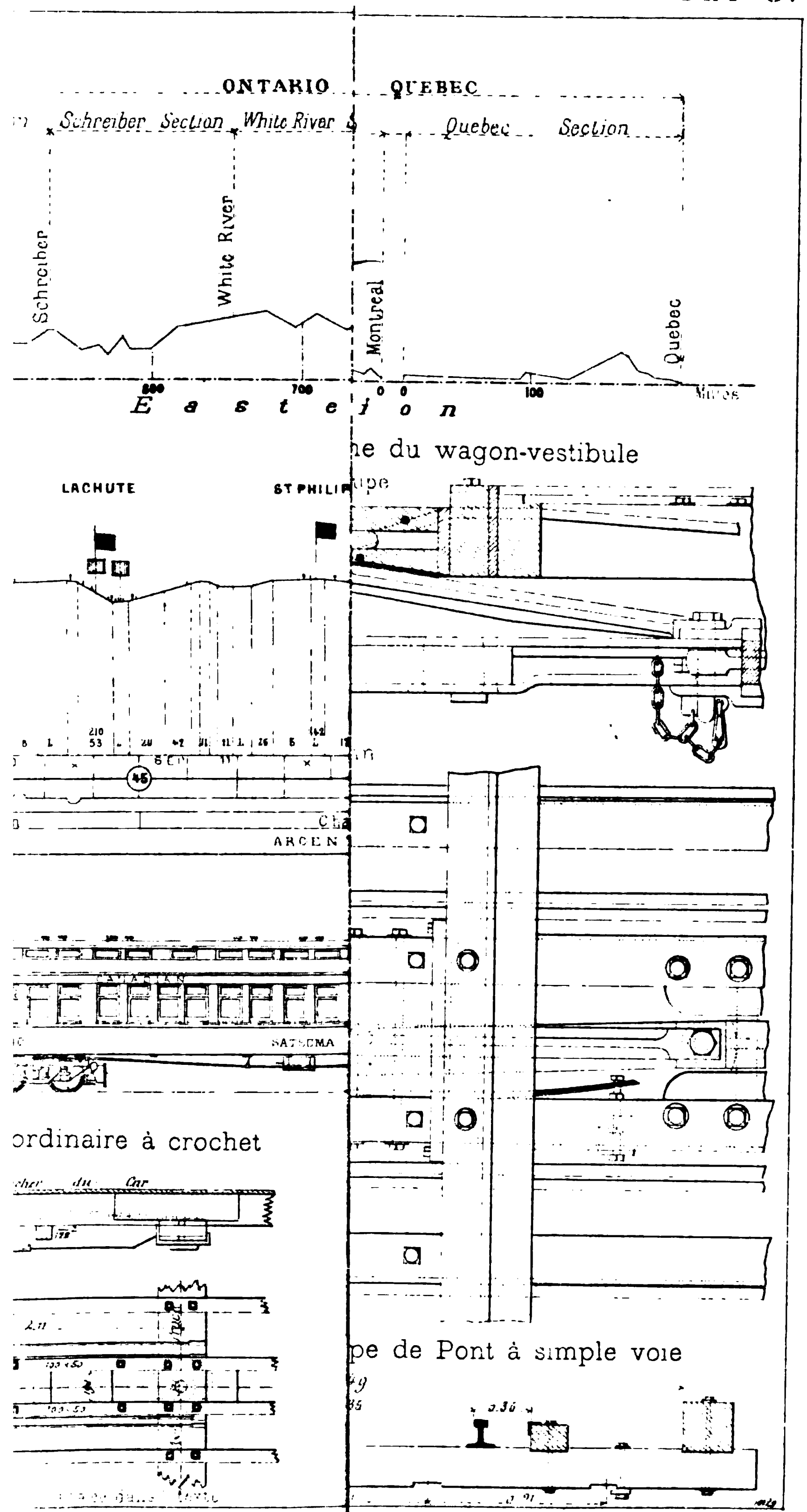
A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 10630-5-94. — (Encre Lorilleux).

Schreiber

LA(

ordin


ONTARIO
QUEBEC
Schreiber Section
White River S
Quebec Section
Schreiber
White River
Montreal
Quebec
800
700
0
0
100
Miles
E a s t e i o n
ne du wagon-vestibule
LACHUTE
ST PHILIP
45
ARCEN
SATSEMA
ordinaire à crochet
pe de Pont à simple voie

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

MAI 1894

N° 5

Sommaire des séances du mois de mai 1894 :

Mémoires contenus dans le Bulletin de mai 1894 :

12° *Locomotives à adhérence totale pour courbes de petit rayon*, par M. A. Mallet, page 557 :

13° *Notes de nos correspondants et membres de province et de l'étranger : Résumé des travaux hydrauliques de l'Ingénieur Enrico Carli*, par M. D. Federman, page 606 ;

14° *Notice bibliographique sur la traduction des Mécaniques de Héron d'Alexandrie de M. le baron Carra de Vaux*, par L. de Longraire, p. 615 ;

15° *Chronique n° 173*, par M. A. Mallet, page 641 ;

16° *Comptes rendus*, id. page 653 ;

17° *Planches nos 105, 106 et 107*.

Pendant le mois de mai 1894, la Société a reçu :

33847 — De M. Wilhem Braumuller. *Jahrbücher der K. K. Central-Anstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus. Jahrgang 1891*. Wien, 1893.

33848 — De MM. Urban (M. de la S.). *Chemins de fer Grand Central Belge. Direction de la Traction et du Matériel. Compte rendu de l'Exercice 1893*. Bruxelles, 1894.

33849 — De M. E. Polonceau (M. de la S.). *Notes sur les boîtes à huile à doubles plans inclinés et l'attelage convergent des locomotives pour voies à profil accidenté* (in-8° de 12 p. avec 2 pl.). Paris, veuve Ch. Dunod, 1894.

33850 — De la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. *Projets d'unification des filetages et des jauges de tréfilerie. Rapport de la Commission des filetages sur le résultat des propositions de la Société* (petit in-4° de 16 p.). Paris, Chamerot et Renouard, 1894.

33851 — De l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. *Rapport concernant les expériences exécutées par MM. Ludwig et Weber, ingénieurs, sur la batterie des chaudières et la machine à triple expansion de l'établissement de MM. Kullmann et Cie à Wittenheim, pour l'étude de l'application de la surchauffe à ces conditions de marche*, par M. Aug. Weber (in-8° de 23 p., avec 1 pl. et 8 tableaux). Mulhouse, Veuve Bader et Cie, 1894.

33852 — De M. Éd. Simon (M. de la S.). *Rapport fait par M. Édouard Simon sur le traité de la ramie*, par M. Félicien Michotte (petit in-4° de 7 p.). Paris, Chamerot et Renouard, 1894.

33853 — De M. Francq (M. de la S.). *Traction mécanique des tramways* (in-8° de 3 p.). Paris, Hôtel des Sociétés savantes, 1893.

33854 — Du North of England Institute. *An account of the strata of Northumberland and Durham as proved by borings and sinkings*. S.-T. (in-8° de 360 p.). Newcastle-Upon-Tyne, 1894.

33855 — De MM. Ed. Badois et P. Duvillard (MM. de la S.). *L'eau du lac de Genève à Paris. Demande de concession. Mémoire à l'appui* (in-4° de 31 p. avec 7 pl.). Paris, E. Capiomont et Cie, 1894.

33856 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Rectification de l'alcool*, par M. E. Sorel (petit in-8° de 168 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33857 — Du Superintendent of the U. S. Coast and Geodetic Survey. *Report for the fiscal year ending June 30, 1891. Part. II.* Washington, 1892.

33858 — Du Massachusetts Institute of Technology of Boston. *Annual Catalogue, 1893-94.* Cambridge, 1894.

33859 — De M. E. Turpin (M. de la S.). *Comment on a vendu la mélinite* (grand in-8° de 592 p. avec 7 pl.). Braine-le-Comte, Lelong, 1892.

33860 — De M. A. Brüll (M. de la S.), de la part de M. Arnodin (M. de la S.). *Notice sur le pont à transbordeur ou voie ferrée à rails supérieurs, système F. Arnodin et A. de Palacio pour la traversée des passes maritimes*, par F. Arnodin (in-8° de 40 p.). Orléans, P. Pigelet, 1894.

33861 — De l'Engineering Society of the School of Practical Science
à of Toronto. *Papers read before.* N° 1, 1885-1886, n° 2, 1887-
33864 1888, n° 3, 1889-1890 et n° 4, 1890-1891.

33865 — De M. de Longraire (M. de la S.), de la part de M. le baron Carra de Vaux. *Les mécaniques ou l'élévateur de Héron d'Alexandrie*, publiées pour la première fois sur la version arabe de Qostâ Ibn Luqâ et traduites en français par le baron Carra de Vaux (in-8° de 194 p. et de 110 pl.). Paris, Imprimerie Nationale, 1894.

33866 — De M. de Borodine (M. de la S.) *On the Working of Steam Pumps on the Russian South Western Railways* (petit in-8° de 47 p.). London, Institution of Mechanical Engineers, 1893.

33867 — De MM. Zschokke et P. Terrier (MM. de la S.). *Application des procédés pneumatiques à la construction des grands ouvrages, et plus spécialement des bassins de radoub* (grand in-8° de 31 p.). Paris, Baudry et Cie, 1894.

33868 — De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs. *Petit Dictionnaire pratique de mécanique et d'électricité*, par M. Ch. Barbat (in-12 de 994 p. et de 234 p.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33869 — De M. P. Guillemant (M. de la S.) *Traité pratique de l'établisse-
et ment, de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, par
33870 Ch. Goschler, 3me édition par P. Guillemant, 1re partie, Service de la voie. Fascicules 1 et 2 (grand in-8° de 742 p.). Paris, E. Bernard et Cie, 1894.

33871 — De M. F. Rycerski (M. de la S.). *Développement de l'agriculture aux États-Unis et de l'Exposition d'agriculture à Chicago* (petit in-8° de 46 p. avec 1 pl.). Warzawa, 1894.

33872 — Du même (M. de la S.). *L'Exposition de Chicago* (petit in-8° de 23 p.). Warzawa, 1894.

33873 — Du même (M. de la S.). *IIIe Congrès des Ingénieurs des mines et des industries métalliques du royaume de Pologne* (petit in-8° de 23 p.). Warzawa, 1894.

33874 — De M. C. J. J. Boucharlat. *Projet d'une ligne de chemins de fer à voie normale de Saint-Fons, La Mouche-Oullins à Lozane-d'Azergues, par les vallées de l'Yzeron, Charbonnières, Lentilly et Cruzols, et d'une ligne de tramway à traction électrique de Lyon-Bellecour à Francheville-l'Étoile d'Alaï, par Saint-Just et le Point-du-Jour. Considérations générales avec plans*, par MM. C.-J.-J. Boucharlat et P. Chanliaux (in-8° de 14 p. avec 1 pl.). Bourg, Imprimerie générale, 1894.

33875 — De M. E. Gruner (M. de la S.). *Note sur la transformation des Sociétés civiles en Sociétés anonymes ou en commandite par actions*, par M. Ch. Thellier de Poncheville (in-8° de 16 p.). Paris, Chaix, 1894.

33876 — Du même (M. de la S.). *Statistique générale des assurances ouvrières en Allemagne, de 1885 à 1893* (in-8° de 54 p.). Paris, Secrétariat général du Comité permanent des accidents du travail, 1894.

33877 — Du même (M. de la S.). *La législation des accidents du travail en Italie* (in-8° de 16 p.). Paris, Secrétariat général du Comité permanent des accidents du travail, 1894.

33878 — De M. Roussel (M. de la S.). *History of the Post Office in New South Wales*, by A. Houison (petit in-4° de 110 p. avec 15 pl.). Sydney, 1890.

33879 — Du même (M. de la S.). *New South Wales. Official Report of the National Australasian Convention Debates* (grand in-8° de 964 p.) Sydney, 1891.

33880 — Du même (M. de la S.). *The Railway Guide of New South Wales* (grand in-8° de 148 p. avec 20 pl.). Sydney, 1886.

33881 — Du même (M. de la S.). *Geographical Encyclopaedia of New South Wales*, by W. Hanson (grand in-8° de 462 p. avec 1 carte), Sydney, 1892.

33882 — Du même (M. de la S.). *New South Wales. Statistical Register for 1891 and previous Years*, by T. A. Coghlan (grand in-8° de 606 p.). Sydney, 1892.

33883 — Du même (M. de la S.). *Richmond River District of New South Wales. New Italy*, by Fred Chudleigh Clifford (grand in-8° de 30 p. avec 1 pl.). Sydney, 1892.

33884 — Du même (M. de la S.). *Select-Extra-Tropical Plants, readily eligible for Industrial Culture of Naturalization*, by Baron Ferd. von Mueller (in-8° de 466 p.). Sydney, 1885.

33885 — Du même (M. de la S.). *The Wealth and Progress of New South Wales, 1892*, by T. A. Coghlan (in-8° de 969 p. avec 1 carte). Sydney, 1893.

33886 — Du même (M. de la S.). *Handbook of the Flora of New South Wales*, by Ch. Moore and Ernst Betche (in-8° de 582 p.). Sydney, 1893.

33887 — Du même (M. de la S.). *An Official Guide to the National Park of New South Wales* (in-8° de 72 p. avec 11 pl.). Sydney, 1893.

33888 — Du même (M. de la S.). *A. Statistical account of the Seven Colonies of Australasia*, by T. A. Coghlan (id-8° de 469 p. avec 1 carte). Sydney, 1893.

33889 à 33900 — Du même (M. de la S.). *Photographies des divers monuments publics de la ville de Sydney.*

33901 — De M. Ch. Walrand (M. de la S.). *The Walrand-Legénisel Process as applied to Steel Castings*, by M. G. J. Snelus (petit in-8° de 16 p. et 2 tableaux). Iron and Steel Institute.

33902 — De M. Ch. Lucas (M. de la S.) *Caisse de défense mutuelle des Architectes. Liste des présidents de l'Association. Liste alphabétique des membres. Données générales* (1 tableau). Paris, Chaix, 1894.

33903 — Du même (M. de la S.). *Caisse de défense mutuelle des Architectes. Memorandum judiciaire* (in-8° de 31 p.). Paris, Chaix, 1894.

33904 — De M. Th. Appleton. *Engineering Education being the Proccedings of Section E of the World's Engineering Congress, held in Chicago July 31, to August 5, 1893.* Columbia, 1894.

Les membres nouvellement admis pendant le mois de mai 1894 sont :

Comme membres sociétaires, MM. :

M.-J.-Ch. Clausel de Coussergues, présenté par MM. du Bousquet, de Dax, Jannettaz.

R.-S.-J. de Faramond de Lafajole,	—	Berthon, Merveilleux du Vignaux, A. Tresca.
P.-P. Guéroult,	—	Deharme, Fleury, Germot.
E. Harlé,	—	du Bousquet, Brüll, Lemonnier.
H.-Ch. Tourneur,	—	Jannettaz, Marboutin, Rousselle.
D. Véga,	—	G. Béliard, Chalon, de Dax.
H. Zschokke,	—	Candlot, Cottancin, Harrand.

Comme membres associés, MM. :

A. André, présenté par MM. J. Durupt, Hardon, Retterer.

P.-O. Vicq,	—	L. Courtier, Cossmann, G. Richard.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE MAI 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 4 MAI 1894

Présidence de M. Appert, Vice-Président

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Au procès-verbal de la séance du 20 avril, dans la communication de M. de Dax, une rectification doit être faite, page 114, ligne 19. C'est par suite d'une erreur qu'il est indiqué que le torpilleur *le Chevalier* donnait une bande de 10° sur babord; c'est 2°10′ qu'il faut lire. Sous réserve de cette modification, le procès-verbal est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de M. A. Hallopeau, survenu le 27 avril dernier.

Hallopeau fut un membre assidu de la Société dont il a été le trésorier pendant trois ans ; il a fait ensuite partie du Comité pendant quatre ans, et tout le monde se rappelle avec quel dévouement il s'est acquitté de ces fonctions; il fut non seulement utile à la Société, mais aussi très serviable pour un grand nombre de ses jeunes collègues et camarades.

Ses travaux sont nombreux, ils lui ont valu de hautes récompenses; professeur à l'École Centrale, il fut lauréat de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale et reçut les croix d'officier d'Instruction publique et de chevalier de la Légion d'honneur.

C'était un modeste, et, avant de mourir, il avait exprimé le désir que seuls ses plus intimes amis assistent à ses funérailles; c'est pour cette raison que la plupart de nos collègues n'ont reçu que tardivement la lettre faisant part de sa mort. Nous regrettons vivement la disparition de cet excellent collègue dont les dernières années furent attristées par des décès qui le frappèrent dans ses plus chères affections.

M. le Président annonce que parmi les ouvrages reçus depuis la dernière séance et dont la liste est publiée à la suite du présent procès-verbal, se trouve un travail de M. Badois : *L'eau du lac de Genève à Paris*, mémoire à l'appui de la demande de concession.

Il signale également le livre de M. Eugène Turpin : *Comment on a vendu la mélinite.*

La Société a été invitée à prendre part à un Congrès international de sauvetage qui sera tenu à Saint-Malo les 6, 7 et 8 juillet 1894.

Les membres désireux d'y assister peuvent s'adresser à M. É. Cacheux, 25, quai Saint-Michel.

M. LE PRÉSIDENT rappelle qu'un Comité s'était formé pour élever un monument commémoratif à Durand-Claye dont les travaux d'assainissement sont bien connus. La Société des Ingénieurs Civils était invitée à se faire représenter à l'inauguration de ce monument et il a été chargé de cette mission ; M. le Président a été très flatté de l'accueil qu'il a reçu en cette qualité de la part du président du Comité, notre collègue, M. Émile Trélat, de M. le Préfet de la Seine et de tous les membres du Comité d'hygiène. De très beaux discours ont été prononcés au cours de cette solennité, par M. Émile Trélat, Président, par M. le docteur Proust, au nom du Ministre de l'Intérieur, par M. de la Tournerie, au nom du Ministre des Travaux publics, et par MM. Navarre, Poubelle, Henrot, etc.

MM. Aron frères offrent à la Société une planche qu'ils ont fait imprimer et qui reproduit la photographie des membres de la Société qui ont pris part au voyage en Amérique ; M. le Président leur adresse ses remerciements.

Le Comité a pensé que la Société désirerait prouver l'intérêt qu'elle porte aux Expositions qui ont lieu en ce moment à Lyon et à Anvers en organisant un voyage collectif ; nos collègues seront avertis, en temps opportun, des dispositions qui seront prises à cet égard.

M. le Président engage vivement les membres de la Société à prendre part à ces visites, car tout fait présager que ces Expositions seront fort intéressantes.

La parole est à M. A. Mallet pour une communication au sujet de *la rupture d'un pont.*

M. A. MALLET désire porter à la connaissance de la Société un fait qu'il croit de nature à intéresser un certain nombre de ses membres.

On a eu à remplacer dernièrement, sur la ligne directe de Lucerne à Berne par Langnau, un pont métallique construit en 1874 sur l'Emme, mais encore en parfait état. Ce pont avait 48 *m* d'une seule portée, 5,80 *m* de hauteur et était établi sur le modèle du pont de Mönchenstein, de fâcheuse mémoire, ce qui a motivé son remplacement.

Le nouveau pont a été monté à côté de l'autre, et celui-ci a servi à une expérience probablement sans précédent dans l'histoire des chemins de fer et des travaux publics. Il a été éprouvé par charges successivement croissantes jusqu'à rupture finale. Celle-ci a eu lieu le 25 avril dernier. Un grand nombre d'Ingénieurs assistaient à l'opération, mais pour permettre à ceux qui n'ont pu être présents de se rendre compte au moins des conditions de déformation et de rupture et d'autres faits qu'on a bien rarement l'occasion d'observer en grand, il a été décidé que les débris du pont resteraient en place pendant une quinzaine de jours.

Notre collègue, M. Paur, correspondant de la Société en Suisse, veut bien se mettre à la disposition de ceux de ses membres qui seraient désireux de visiter le pont de Wohlhusen (20 *km* de Lucerne) pour les accompagner sur place et leur donner toutes les explications nécessaires.

On trouvera d'ailleurs des renseignements très circonstanciés sur cette remarquable expérience, dans le numéro du 28 avril du *Schweizerische Bauzeitung.*

M. le Président remercie M. Mallet de l'invitation qu'il nous a transmise ; ceux de nos collègues qui voudront s'y rendre n'auront qu'à s'adresser au secrétariat de la Société.

M. A. Brüll a la parole pour la présentation de la notice de M. Arnodin sur un pont à transbordeur.

Notre collègue M. F. Arnodin fait hommage à la Société d'une notice qu'il vient de publier sur le *Pont à transbordeur*, pour la traversée des passes maritimes.

M. Arnodin, constructeur de ponts suspendus à Châteauneuf-sur-Loire (Loiret), a acquis une expérience consommée dans ce genre de constructions.

Il a introduit dans l'établissement et l'entretien de ces ouvrages plusieurs perfectionnements qui ont été fort appréciés. Entre autres, il a amélioré les câbles en les constituant de couronnes concentriques de fils enroulés en sens alternés; il a facilité l'entretien en composant la suspension et la retenue de chaque rive du pont de plusieurs câbles, et en attachant les tiges de suspension de façon à permettre l'enlèvement d'un de ces câbles pour la réparation ou le remplacement; il a construit les poutrelles en fer et acier, en forme de trapèze aplati, constituant de petites poutres armées d'une grande légèreté; il a donné plus de rigidité au tablier, en utilisant les garde-corps comme poutres raidissantes, de façon qu'ils répartissent sur plusieurs tiges de suspension successives le poids de la charge roulante.

M. de Palacio, ingénieur et architecte de Madrid, se proposait d'établir une traversée du Nervion, près de son embouchure, entre Las Arenas, sur la rive droite, dont la magnifique plage a fait récemment une station de bains de mer très fréquentée, et la vieille ville de Portugalete, dont les maisons s'étagent en face en amphithéâtre. Les communications n'étaient desservies que par des barques dont le service incommode et même quelquefois dangereux ne répondait plus aux besoins d'une active circulation.

Mais la grande largeur du fleuve, les mouvements de la marée, les violentes tempêtes du golfe de Biscaye, la navigation si importante de la rivière de Bilbao, rendaient le problème fort difficile.

M. de Palacio avait songé à poser une voie transversale sur le fond de la rivière, et à y faire circuler un porteur roulant du genre de celui que M. Leroyer a établi entre Saint-Malo et Saint-Servan, mais il ne put obtenir l'autorisation à cause des dangers qu'auraient amenés les rails pour les navires jetant l'ancre à cet endroit.

Il adopta et fit accepter par les autorités un nouveau système de pont auquel M. Arnodin travaillait alors et c'est à leurs études combinées

qu'est dû le *pont à transbordeur* dont la notice présente la description et expose l'application à l'embouchure de la rivière de Bilbao.

Cet intéressant ouvrage est en service avec plein succès depuis neuf mois. M. Brüll en résume en peu de mots les principales dispositions.

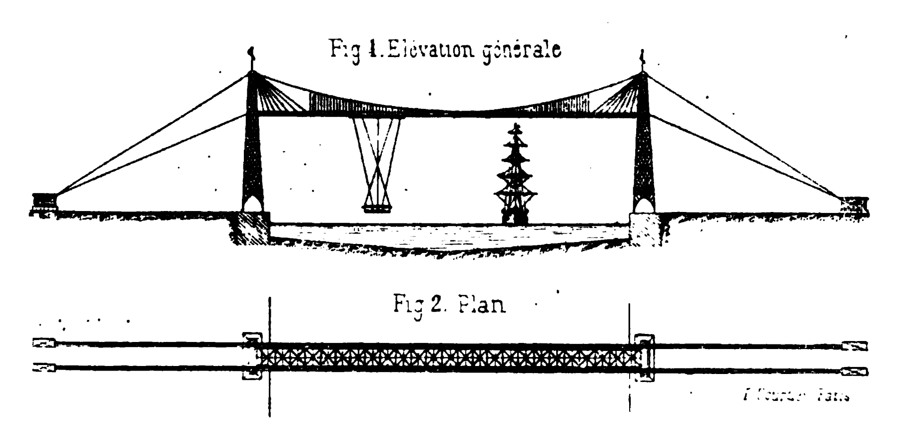
Le Nervion coule entre deux quais verticaux, avec une largeur de 160 *m*. Il était imposé de laisser sur toute cette largeur une hauteur libre de 45 *m* au-dessus de la plus haute mer équinoxiale.

Deux piles en fer et cornières s'élèvent sur les quais en pierre jusqu'à une hauteur de 61 *m*. Deux massifs de maçonnerie sont disposés à une distance convenable des rives.

A l'aide de ces supports et de ces points d'amarrage, un pont suspendu a été établi pour supporter avec sécurité une charge d'épreuve de 40 *t*, et un vent de 275 *kg* par mètre carré.

Mais s'il avait fallu élever jusqu'à la hauteur du tablier, puis redescendre ensuite les voyageurs, les bestiaux, les voitures qui traversent le fleuve, la durée du trajet total aurait été bien trop longue.

C'est au niveau même des quais que se fait la traversée du fleuve. Une plate-forme formée d'une voie charretière et de deux trottoirs cou-



verts et garnis de bancs, pouvant contenir 150 personnes à l'aise, franchit ainsi à quelques mètres au-dessus de l'eau, dans l'un ou l'autre sens, la largeur de 160 *m* en moins d'une minute.

Cette sorte de nacelle est supportée, à l'aide de câbles en fil d'acier, convenablement disposés au point de vue de la sécurité et de la stabilité, par un long chariot ayant neuf paires de roues de chaque côté. Ce chariot roule sur deux petites voies de chemin de fer établies sous les deux rives du tablier du pont.

Un treuil à vapeur placé à une certaine hauteur dans l'une des piles, donne le mouvement au chariot, par un petit câble sans fin. Le mécanicien est placé de façon à bien apprécier le mouvement des navires, et il ne met en marche qu'après s'être assuré que le passage sera libre pendant une minute. Il peut d'ailleurs arrêter aisément le mouvement en tout point, en cas de besoin.

La construction présente un cachet de hardiesse, de légèreté et d'élégance.

Le contrôle administratif de ce curieux travail a été confié par le Gouvernement espagnol à M. Lequerica, Ingénieur en chef des provinces basques et de Navarre.

L'exécution a été faite, partie dans les ateliers de Châteauneuf-sur-Loire, partie dans les ateliers de Zorroza, près Bilbao. Le montage, que rendaient assez périlleux l'activité de la navigation et l'affluence des promeneurs, a été mené à bien, sans aucun accident, par le chef monteur Gory.

Après des épreuves sévères, le pont à transbordeur a été mis en service le 28 juillet 1893. Dès le début, la foule s'est précipitée dans le transbordeur, où elle s'entassait à s'étouffer, au nombre de 250 à 300 personnes.

Cet enthousiasme s'explique par la grande douceur du roulement, par l'apparence de hardiesse que présente un appareil suivant au ras des flots, une voie certaine sans qu'on aperçoive à quelque distance ni les fils qui le supportent ni celui qui l'entraîne, par la rapidité du passage, par l'absence de tout balancement, par la sensation de sécurité que l'on éprouve dans la nacelle.

Le trafic du pont de Portugalete a dépassé les prévisions, parce que, en dehors des relations commerciales entre les deux rives, il est fréquenté aussi par une affluence de promeneurs et de curieux.

Des Ingénieurs de plusieurs pays ont visité ce remarquable ouvrage et on étudie en ce moment des projets d'application du système de Palacio et Arnodin à la traversée de divers cours d'eau à grande navigation.

M. Brüll pense être l'interprète de la Société, en remerciant M. Arnodin de son importante communication.

M. le Président partage cette opinion et adresse des compliments à M. Arnodin, qui a trouvé une solution ingénieuse d'un problème difficile; il remercie également M. Brüll, pour son intéressant exposé, fait d'une façon si claire et si précise.

M. le Président donne la parole à M. de Longraire, pour la présentation d'un ouvrage, traduit de l'arabe par M. le baron Carra de Vaux, sur l'art d'élever les fardeaux.

M. de Longraire présente à la Société la traduction française des *Mécaniques ou de l'Élévateur de Héron d'Alexandrie* avec le texte arabe du manuscrit utilisé, de la part de son auteur, *M. le baron Carra de Vaux*, membre de la Société asiatique.

Cette traduction a été éditée par l'Imprimerie Nationale.

Le manuscrit arabe, qui n'avait jamais été ni imprimé ni traduit, provient de la bibliothèque de Leyde (Hollande). On en connaissait quelques extraits qui faisaient désirer de posséder le reste. Le texte arabe est une traduction faite directement sur un livre grec qui, malheureusement, était défectueux, car le début manque, et des transpositions sont probables; cependant l'ensemble est remarquable.

L'ouvrage est divisé en trois livres. Le premier contient la description d'un train d'engrenages, les mouvements relatifs des cercles tangents avec l'énoncé du parallélogramme des mouvements qui n'est pas utilisé par la suite, l'amplification des figures suivant un rapport donné, la

poulie, la répartition des charges sur les colonnes ou supports qui les soutiennent.

Le second livre traite d'abord des cinq machines simples, le treuil, le levier, la moufle, le coin et la vis, ainsi que leurs combinaisons. Héron recommande de s'enquérir des causes de chaque mouvement et de les rapporter à des vérités connues auparavant. Il indique les deux propositions suivantes, d'ailleurs évidentes : 1° le léger est mû facilement, le lourd difficilement ; 2° un même poids est mû plus aisément par une plus grande que par une moindre puissance.

Si l'on se reporte aux principes de la mécanique actuelle, énoncés pour la première fois par Newton en 1687, sous la forme adoptée depuis lors, on ne peut que s'enorgueillir d'un tel progrès.

Suivent dix-sept questions avec leurs réponses, toutes intéressantes et des applications de la théorie des centres de gravité.

Le troisième livre se rapporte spécialement à l'*Elévateur*, c'est-à-dire aux appareils de levage ayant un nombre de montants variable de un à quatre : ensuite une sorte de plan incliné pour faire descendre les grosses pierres des sommets des montagnes — et enfin les presses usitées pour fabriquer le vin et l'huile d'olive.

Cette seule énumération montre la variété des sujets abordés par Héron, et celle des renseignements donnés sur la science et les appareils de l'époque où cet ouvrage a été écrit. L'auteur ne perd jamais le point de vue pratique, et doit être considéré comme un véritable ingénieur civil, c'est-à-dire un de nos ancêtres ; chose curieuse, son nom n'est pas grec, et dans la langue égyptienne, il répond précisément à l'idée d'Ingénieur.

Il est donc nécessaire de fixer l'époque où ce livre a été rédigé. Malheureusement, on n'a aucun détail sur l'existence de Héron ; d'après la tradition et sur diverses indications, on a fait vivre Héron, approximativement, de 130 à 50 ans avant Jésus-Christ ; ses ouvrages auraient été écrits vers l'an 80. On soulève maintenant des objections qui feraient reporter la rédaction de ses livres vers la fin du Ier siècle après Jésus-Christ, soit une différence de plus d'un siècle et demi. Ces controverses sont exposées par M. Carra de Vaux dans son introduction : il semble convenable d'attendre encore pour prendre une décision. Tout en comprenant l'intérêt de ces questions, il suffit pour nous de connaître les limites extrêmes entre lesquelles Héron a dû vivre.

M. de Longraire termine en disant que l'admiration profonde de tous pour l'art et les mouvements antiques, nous fait un devoir de réunir avec un véritable respect et un soin pieux, les livres qui nous renseignent sur les modes de construction usités en ce temps-là.

La traduction de l'ouvrage, jusqu'ici inconnu, de Héron est donc un véritable événement scientifique, et de sincères remerciements doivent être adressés à M. le baron Carra de Vaux, qui en a vainement cherché le manuscrit à Venise et à Rome, avant de recourir à celui de Leyde, et qui a traduit ce dernier de l'arabe avec une grande fidélité et une véritable compétence.

Héron a écrit un ouvrage intitulé les *Pneumatiques*, qui a été connu dès 1575 par une traduction latine. C'est une œuvre fort importante qui

ensuite a été publiée en italien, en allemand et en anglais, sans qu'il en existe une traduction française. Il y a donc lieu de se féliciter de posséder, en notre langue, le nouvel ouvrage qui manquait dans la collection des auteurs anciens, et il convient de le signaler à tous ceux qui s'intéressent à l'histoire des sciences concernant l'art de l'ingénieur.

M. Périssé demande si ce livre traite de l'éolipyle de Héron, dont on parle dans les traités de physique.

M. de Longraire répond que cet appareil est décrit dans l'autre ouvrage : *les Pneumatiques*. Il a du reste l'intention de faire, un jour, une communication à la Société sur ce travail qui a un très grand intérêt historique.

M. le Président remercie M. de Longraire de la très intéressante communication qu'il vient de présenter et prend note de la promesse qu'il a faite d'exposer un jour, devant la Société, les résultats de ses recherches historiques.

La parole est à M. J. Hinstin pour sa communication sur un *Nouveau foyer fumivore appliqué aux fours industriels, aux chaudières à vapeur et au chauffage domestique.*

M. J. Hinstin, en raison de l'étendue de sa communication, s'excuse d'entrer en matière sans préambule. Cependant il désire, avant tout, rendre hommage à nos maîtres Péclet et Thomas et mentionner en les remerciant ses collaborateurs : M. Caillot, Ingénieur-Mécanicien de la Société Commentry et Fourchambault, qui lui a donné son concours pour l'exécution des premiers modèles, et nos jeunes collègues MM. Marcelof et de Grandsagne qui travaillent avec lui en ce moment et l'ont aidé à préparer cette communication.

Le foyer sur lequel il va exposer le principe de son système fonctionne depuis près de deux années sur un four à briques réfractaires, et briques grès blancs de kaolin, dépendant de l'exploitation des kaolins de l'Allier, de la forêt domaniale des Colettes, située entre Montluçon et Gannat. Son but n'a pas été d'établir dans cette lointaine forêt un système fumivore. Il se proposait d'élever la température de la cuisson des briques, de diminuer la proportion des incuits, et de réaliser des économies sur la dépense en charbon. Il a cherché à obtenir, par des moyens nouveaux, la combustion rationnelle et complète du charbon, en serrant de plus près qu'on ne l'avait encore fait, les principes mêmes de la combustion. Il y est arrivé et a obtenu, par surcroît, la fumivorité comme conséquence de la combustion rationnelle et complète qu'il recherchait.

Il signale d'abord le résultat obtenu : cuisson à haute température, suppression presque complète des incuits, économie de 34 0/0 sur le combustible.

Quant à la fumivorité, elle est absolue. En plein feu, à l'allure la plus active, la cheminée paraît absolument inactive ; au moment de la charge, faite avec une brouettée de 80 *kg* de charbon de Commentry, l'aspect de la cheminée n'est en rien modifié ; mais on peut ensuite, en dérangeant le système, faire sortir des torrents de fumée intense, puis au

commandement, la faire disparaître de nouveau en remettant le système en place. L'expérience est saisissante autant que concluante. Elle a été faite avec le même succès à Paris, sur un fourneau de cuisine de « la Ménagère », transformé suivant le système.

Le nouveau foyer n'est autre chose qu'un foyer ordinaire complété par deux annexes : l'une en avant, pour lui permettre de mieux effectuer la combustion rationnelle des gaz distillés; l'autre en arrière, dans laquelle le coke doit achever de se brûler. L'ensemble forme donc trois parties : le *foyer proprement dit* qui est un foyer ordinaire au centre ; l'*avant-foyer*, placé en avant, dans lequel on charge le combustible; et l'*arrière-foyer* où se finit la combustion.

M. Hinstin explique que la fonction, et en même temps la particularité de « l'avant-foyer », est d'obliger le mélange intime de l'air et des gaz combustibles à s'effectuer par le renversement, avant qu'ils ne passent au-dessus et à proximité du charbon incandescent capable de les brûler.

Le « foyer proprement dit » n'a d'autre particularité dans le système que sa position entre ses deux annexes. Sa fonction est de fournir une masse centrale incandescente qui produit la chaleur nécessaire à la distillation du combustible dans l'avant-foyer, à la combustion du mélange gazeux, comme on vient de le dire, et au chauffage de l'arrière-foyer qui a besoin d'être tenu à haute température pour remplir le rôle spécial qui lui incombe dans le système.

M. Hinstin démontre que « l'arrière-foyer » brûle en acide carbonique le coke qui se présente en couche mince, sous l'influence d'une quantité d'air réglée, dans un milieu maintenu à une haute température ; puis, que la chaleur obtenue par la combustion en acide carbonique est conservée grâce à une plaque de séparation appropriée qui empêche le refroidissement par l'accès de l'air extérieur, d'une part, tandis qu'une voûte concentre, d'autre part, la chaleur produite sur les parties qu'il est utile de maintenir incandescentes.

M. Hinstin ne pense pas que, même dans ces conditions favorables, la combustion puisse cependant être toujours complète.

Il montre que la combustion complète doit constituer une dernière opération spéciale, et que le système nouveau l'effectue à l'aide des dispositions particulières données à la voûte de l'avant-foyer et au mur d'autel de l'arrière-foyer ou leur prolongement, ainsi qu'à la voûte de l'arrière-foyer. Il explique comment ces organes servent à réchauffer, puis à effectuer la rencontre de deux couches d'air, qui serrent entre elles tous les produits de la combustion, de façon à enflammer à leur point de rencontre, tenu à une aussi haute température que possible, tous les produits combustibles (fumées, carbures, oxyde de carbone, etc.) qui avaient pu échapper à la première combustion.

M. Hinstin donne quelques détails de construction facilitant la bonne application du système, en insistant sur la manière dont on peut diminuer la température au point où s'effectue la seconde combustion finale, dans le cas où la trop rigoureuse application du système élèverait celle-ci à un point supérieur à ce qui est nécessaire pour produire l'inflammation, et qui serait nuisible à la bonne conservation des organes.

Il montre ensuite, à titre d'exemple, un certain nombre des transformations qu'il a fait subir à l'appareil primitif pour se plier aux nécessités des nombreuses et diverses applications des foyers.

Les applications sont divisées en trois groupes : celui des fours industriels, celui des chaudières à vapeur, et enfin le chauffage domestique.

Le premier groupe comprend :

1° Le four à briques réfractaires et briques dites grès blanc en kaolin des Colettes (Allier) déjà décrit;

2° Un four à porcelaines établi par notre distingué collègue M. C. de Renty, Ingénieur céramiste, qui a bien voulu y joindre une intéressante notice qui est annexée au mémoire;

3° Un four à distiller la houille, présenté pour montrer comment l'oxyde de carbone se brûle à l'intérieur du foyer, dans le cas où le chauffage se fait au coke et où l'on n'a plus à s'occuper de fumivorité;

4° Un four crématoire, accompagné d'un avant-projet complet des dispositions à donner au monument crématoire. M. Hinstin indique qu'il a donné un certain développement à cette application, parce qu'elle intéresse particulièrement le *Génie Civil*. Il ne s'est pas préoccupé seulement de supprimer la fumée, mais aussi de faire disparaître tout ce que, dans les conditions actuelles, la cérémonie de la crémation a de contraire à nos mœurs et à nos sentiments.

Dans le second groupe, M. Hinstin présente :

1° Une chaudière à bouilleurs extérieurs dans laquelle il s'est préoccupé de conserver le rendement maximum en vapeur et de préserver les bouilleurs des coups de feu trop vifs ;

2° Une chaudière à foyer intérieur qui présente une garniture réfractaire développée tout autour du point sur lequel doit se faire l'inflammation des produits de la seconde combustion à la suite de la grille;

3° Un foyer de locomotive, dans lequel la disposition particulière des voûtes sert de terme de comparaison avec celle du foyer Ten-Brinck.

Le groupe du chauffage domestique est représenté par :

1° Un poêle à feu continu et combustion lente dont le combustible est complètement enveloppé d'air et qui brûle son oxyde de carbone sur le foyer lui-même; il répond victorieusement, explique M. Hinstin, aux graves objections faites par l'Académie de médecine contre ce mode de chauffage.

M. Hinstin présente en même temps un petit appareil, dit auto-régulateur du tirage, destiné à être posé dans les cheminées pour forcer le tirage à se faire, malgré les refoulements de la cheminée;

2° Deux poêles à feu intermittents, l'un de salle à manger, l'autre pour les petits ménages. Ce dernier, en fonte, a une forme rationnelle destinée surtout à le distinguer des autres. Il servira au besoin à faire la cuisine;

3° Un fourneau de cuisine, qui donne à un moment donné une chaleur intense avec peu de combustible, mais dont le foyer se transforme en réservoir de charbon, aussitôt que la cuisinière a besoin d'une moindre chaleur;

4° Un groupe d'appareils pour cheminées d'appartements;

L'un se place devant les cheminées avec un tuyau, un autre se place dans la cheminée même, en remplacement des grilles.

Le troisième forme une garniture intérieure de cheminée et laisse libre la place des chenets.

M. Hinstin a introduit dans tous ces appareils une prise d'air arrivant sous le foyer qui donne de l'activité au tirage autant que si on avait une fenêtre ouverte.

La forme des grilles adoptées et leurs dimensions ont pour effet de rassembler toujours le charbon de lui-même en une masse favorable à la bonne combustion et qui fournit le maximum de chaleur sous le plus petit volume.

Il explique enfin que la haute température maintenue dans l'ancien foyer par la plaque de séparation et la faible entrée d'air, produit des effets jusqu'ici inconnus dans les foyers domestiques; bonne combustion des cendres, du poussier et de tout combustible, longue durée du feu, économie de combustible. Le système améliore même la qualité du tirage.

M. LE PRÉSIDENT demande si quelqu'un a des observations à présenter.

M. A. LAVEZZARI demande quelques explications au sujet de la rentrée d'air au-dessus de la grille, notamment dans le foyer de chaudière dont le dessin est exposé.

M. Hinstin a dit, en effet, qu'il obtient une fumivorité complète, c'est-à-dire qu'il supprime toute trace de fumée, en faisant arriver au-dessus de la grille une certaine quantité d'air destiné à produire la combustion des gaz et, en particulier, des carbures provenant de la distillation.

N'est-il pas à craindre que pendant la majeure partie de la période qui sépare deux chargements consécutifs, lorsque la distillation sera achevée, et que, par suite, il y aura moins de gaz à brûler, cet air ne se trouve en excès; alors le refroidissement qui en résultera pourra faire perdre le bénéfice obtenu par la combustion complète au moment du chargement et même le remède pourra être pire que le mal.

Au cours d'un grand nombre d'essais de vaporisation qu'il a faits lui-même, M. Lavezzari croit avoir reconnu qu'il est impossible d'obtenir *économiquement une fumivorité absolue* si en même temps qu'on règle l'accès de l'air on n'assure pas la régularité de l'épaisseur de la couche de combustible par un *chargement continu.*

Avant de répondre, M. Hinstin demande s'il n'y a pas d'autres observations afin de pouvoir donner en une fois toutes ses explications.

M. LENCAUCHEZ ne croit pas à l'efficacité de l'autorégulateur de combustion; il craint que les courants ne s'y contrarient, et le meilleur moyen d'assurer le tirage est d'établir une prise d'air en communication avec l'extérieur, pour la production de l'air chaud intérieur, assurant la ventilation.

Quant à la fumivorité et à l'économie de combustible, M. Lencauchez estime qu'on peut les obtenir avec des grilles bien proportionnées et il cite à l'appui de son dire l'exemple d'une chaudière multitubulaire montée récemment dont on a très fortement amélioré le régime en augmentant la surface de grille; sa production est passée de 4,150 *kg* par kilo-

gramme de houille de Commentry à 7,650 *kg* et de 10 à 25 kilogrammes par mètre carré moyen et par heure; il cite encore l'exemple des locomotives de l'Etat Belge construites sur les plans de M. Belpaire, l'ancien directeur-administrateur des chemins de fer de l'Etat, et membre de la Société.

Le plus grand défaut des foyers ordinaires provient de l'habitude qu'ont les chauffeurs de charger en couches trop épaisses pour éviter un peu de fatigue; on pourrait cependant y remédier, sans changer les grilles, en insufflant des lames d'air au-dessus de la couche de combustible. Mais il faut que la pression soit assez forte pour que l'air se répande sur toute la surface en ignition; c'est ce que l'on obtient avec des ventilateurs Root, donnant des pressions de 1 *m* d'eau.

Il est certain que la solution la plus simple au point de vue de la conduite du feu est celle des gazogènes, mais ils ont le défaut d'être un peu coûteux de premier établissement.

Enfin la fumivorité est parfaitement résolue avec les foyers des locomotives de la Compagnie d'Orléans, système Forquenot et amélioré par notre collègue et ancien président, M. Polonceau.

Grâce au bouilleur faisant cloison divisant le foyer en générateur (gazogène) de gaz combustibles et en chambre de combustion complète et indépendante, on arrive avec ce bouilleur, dû à M. Ten-Brinck, à brûler sur ces machines, sans aucune trace de fumée, les briquettes des houilles de l'Aveyron qui renferment 36 à 37 0/0 de matières volatiles. Les voûtes employées depuis sept à huit ans dans les foyers de locomotives produisent d'ailleurs un résultat analogue, mais moins parfait, il est vrai.

M. Hinstin répond que l'observation qui lui est présentée par M. Lavezzari est théoriquement exacte, et il remercie son collègue de lui fournir une occasion de développer ce côté intéressant de la question.

Il estime que la quantité d'air nécessaire à la combustion ne varie pas sensiblement pendant le temps qui s'écoule entre deux charges successives, car la structure du charbon elle-même ne modifie pas sensiblement la résistance au passage de l'air dans ce même temps, puisque, s'il tend à s'affaisser en brûlant, il gonfle d'autre part en s'échauffant.

Lorsque, au moment de la charge, le chauffeur ouvre la porte du foyer, la forme extérieure de son combustible ne s'est pas beaucoup modifiée. C'est le chauffeur qui brise le combustible distillé, et le fait avancer sur la grille, pendant la manœuvre qui consiste à lancer le ringard à crochets tout le long de la surface de la grille pour la nettoyer, pousser le mâchefer en arrière et préparer la place de la charge nouvelle.

L'observation ne porte pas sur le refroidissement produit pendant le temps très court de la manœuvre; M. Hinstin croit devoir cependant faire remarquer que cet inconvénient est ici très atténué par la voûte de l'avant-foyer, qui fait obstacle au libre accès de l'air; ce qui est un avantage appréciable.

Mais il tient surtout à faire observer que, une fois les registres réglés pour une marche voulue de la chaudière, la combustion rationnelle et complète doit continuer à se faire sans qu'il y ait rien autre à faire que la manœuvre qui vient d'être rappelée. Les registres qui font entrer

la quantité d'air voulue dans chacune des parties dont se compose le foyer sont réglés pour la quantité nécessaire maxima ; ensuite c'est l'épaisseur du combustible, résultant de la forme rationnelle de la grille, qui, dans chaque partie, termine le réglage définitif. Dans ces conditions, la situation, en effet, n'est pas constante; les entrées d'air dépendent des modifications de la forme et de la résistance du combustible pouvant varier; toutefois, les variations seront toujours limitées par l'ouverture maxima des registres.

Théoriquement, on a donc le droit de dire qu'il entrera à un moment donné un excès d'air, et de penser que le refroidissement qui en résultera pourra nuire à la combustion rationnelle et complète qui est recherchée.

Pratiquement, M. Hinstin déclare que cet écart, limité et voulu, est à l'avantage du système.

Si, en effet, on voulait faire de la combustion rationnelle et complète conformément à la théorie, on serait conduit à concentrer sous un volume minimum les 94 000 calories que nous demandons à douze parties de carbone, au lieu des 25 800 qu'elles fournissent lorsqu'elles brûlent imparfaitement en Co, et l'on produirait des températures de 2 000°, auxquelles le foyer ne pourrait résister.

La combustion rationnelle et complète doit se faire pratiquement à la température du rouge vif, nécessaire et suffisante pour déterminer l'inflammation des mélanges gazeux et opérer la combustion du coke en acide carbonique ; le surplus est pratiquement nuisible, et il est heureux que l'on puisse disposer d'un abaissement de température, le cas échéant, à l'aide des registres dont on règle l'ouverture maxima suivant les besoins. M. Hinstin rappelle que, dans le cours de sa communication, il a signalé ces températures excessives dues au système même, mais qu'il est facile de corriger en s'écartant un peu de la rigoureuse application des principes.

En réponse à M. Lencauchez, M. Hinstin fait les remarques suivantes :

En ce qui concerne l'autorégulateur du tirage, il craint de ne pas s'être fait suffisamment comprendre.

En ce qui concerne la glorification des grilles ordinaires, il est le premier à proclamer leur mérite et elles occupent une place principale dans son système; il s'est contenté de les compléter pour corriger surtout le trop fréquent défaut d'habileté et de compétence des chauffeurs.

Quant aux autres systèmes de fumivorité, M. Hinstin n'a qu'un mot à lui répondre : il s'est proposé de présenter à la Société des moyens nouveaux, mais nullement de critiquer ceux qui ont été essayés et pratiqués depuis plus de cinquante ans pour obtenir la fumivorité.

Il est tout à fait de l'avis de notre collègue très compétent sur les parfaites qualités des gazogènes; mais ici il ne s'agit que de foyers à grilles, et même à grilles plus développées que les grilles ordinaires. Ce sont deux modes de chauffage différents.

M. le Président remercie M. Hinstin de sa communication; notre Collègue s'est attaqué à un des problèmes les plus ardus de la combustion et il paraît en avoir trouvé une solution heureuse; on connait les résultats avantageux obtenus industriellement par l'emploi des gazogènes

destinés à transformer les combustibles solides en combustibles gazeux; les appareils de M. Hinstin pourront les suppléer dans quelques cas particuliers.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de M. P. P. Guéroult, comme membre sociétaire, et de MM. André et P. O. Vicq, comme membres associés.

MM. Ch. Clausel de Coussergues, R. P. J. de Faramond de Lafajole, E. Harlé, H. Ch. Tourneur, D. Vega et H. Zschokke sont reçus comme membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 18 MAI 1894

Présidence de M. G. du Bousquet, Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. Badois demande une rectification au procès-verbal de la séance du 4 mai, où il est désigné comme auteur du mémoire intitulé : *L'Eau du lac de Genève à Paris*. — Il a eu, dit-il, le grand honneur de contresigner ce document comme Ingénieur du Comité d'études, après qu'un examen approfondi et une longue collaboration lui en eurent démontré l'excellence; mais l'auteur est notre collègue, P. Duvillard, à qui en revient tout le mérite. C'est une forme nouvelle, plus précise de son projet d'adduction des eaux françaises du lac Léman.

M. Badois ajoute qu'il ne saurait, sans émotion, rappeler que ce travail eut aussi pour collaborateur notre regretté collègue et ami, A. Hallopeau, qui avait apporté le plus grand dévouement à cette étude, dont il put encore annoter les épreuves, et à laquelle il consacra, on peut le dire, sa dernière pensée d'Ingénieur.

M. le Président répond qu'aucun des noms qui viennent d'être mentionnés ne sera oublié, et le procès-verbal est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer les décès de deux membres très anciens de la Société : MM. Guettier André et Guillaume Charles, qui faisaient partie de la Société depuis 1848; M. Guillaume, ancien Ingénieur de la Compagnie des chemins de fer du Midi, ancien directeur et administrateur des chemins de fer de l'Espagne, était chevalier de la Légion d'honneur et de plusieurs ordres étrangers.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que M. Canet a reçu la plaque de grand-officier de l'ordre de Saint-Stanislas.

Cette distinction lui a été conférée par le gouvernement russe à la suite

de l'adoption par la marine impériale de son système d'artillerie à tir rapide.

Tous les navires russes et un grand nombre de navires français auront donc un armement du même système. C'est une situation qu'il est intéressant de signaler dans les circonstances actuelles.

M. le Président dépose sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance, au nombre desquels il signale tout spécialement :

De M. Roussel, plusieurs ouvrages en anglais sur la Nouvelle-Galles du Sud, accompagnés de différentes vues photographiques de monuments de la ville de Sidney;

De MM. E. Bernard et Cie, éditeurs, le *Petit Dictionnaire pratique de mécanique et d'électricité*, par M. Ch. Barbat;

De M. P. Guillemant, *Traité pratique de l'établissement, de l'entretien et de l'exploitation des chemins de fer*, par Ch. Goschler, troisième édition, revue, corrigée et augmentée, par M. Guillemant.

Ce traité parait très intéressant et M. le Président a prié notre collègue, M. A. Mallet, qui a une très grande expérience de ces questions, de l'analyser.

La parole est à M. Cacheux sur *le Congrès de Saint-Malo*.

M. Cacheux désire donner quelques renseignements sur le huitième Congrès de sauvetage qui s'ouvrira à Saint-Malo le 6 juillet prochain, sous la présidence de l'Amiral Duperré.

On y traitera la question de la pêche maritime qui, depuis quelques années, prend une importance considérable par suite de l'emploi de la vapeur et de filets munis de cordes en fil d'archal, avec lesquels on peut chercher le poisson à des profondeurs de 120 à 150 *m*. En mettant à la disposition des pêcheurs des bateaux bien construits, on diminuera le nombre des naufrages et en les munissant d'engins de pêche perfectionnés on leur permettra d'exploiter des zones poissonneuses qu'ils ne peuvent atteindre actuellement avec le matériel dont ils disposent. Il ne suffit pas d'être en possession d'un bon matériel pour faire des pêches fructueuses ; il faut encore connaître les endroits où se tient le poisson, M. Guillard qui, depuis dix ans, explore le golfe de Gascogne, a dressé une carte qui indique les zones poissonneuses ainsi que les températures des couches d'eau dans lesquelles se tiennent les diverses espèces de poissons. Avec de bons bateaux nos pêcheurs iront directement dans les endroits où ils pourront capturer de grandes quantités de poissons ; ils augmenteront ainsi leur salaire, ce qui leur permettra d'améliorer leur matériel et de s'assurer contre les risques de la mer.

Dans une autre section on étudiera les divers modes de transport des blessés et on fera des expériences avec la voiture Lagogué d'Alençon, qui est adoptée par diverses administrations.

Enfin parmi les autres questions qui seront traitées et qui peuvent intéresser les ingénieurs, M. Cacheux cite celles qui sont relatives aux accidents qui se produisent à l'occasion d'ascensions aéronautiques. Plusieurs spécialistes ont promis de faire des communications intéressantes sur ce sujet.

Bien entendu les excursions en mer ne seront pas oubliées.

En terminant, M. Cacheux est heureux de dire que si le sauvetage commence à présenter une certaine efficacité, c'est en grande partie grâce à nos Collègues qui ont bien voulu, dans les séances du Congrès de 1888, traiter les questions relatives à la prévention des inondations, aux accidents du travail dans les ateliers industriels, dans les exploitations de chemins de fer et des mines et enfin sur la voie publique.

M. le Président remercie M. Cacheux de sa communication et donne la parole à M. Charles Lucas pour sa communication sur *la Caisse de défense mutuelle des Architectes.*

M. Ch. Lucas, après avoir remercié le Bureau de l'accueil favorable qu'il a fait à sa communication, rappelle les nombreux points de ressemblance qu'ont entre elles les missions de l'Ingénieur et de l'Architecte : aussi espère-t-il intéresser ses collègues en les entretenant d'une question d'économie sociale à propos d'une œuvre destinée à protéger une classe de travailleurs appartenant à une profession libérale.

L'orateur s'exprime ensuite en ces termes :

Depuis près d'un siècle, depuis la promulgation des divers titres du Code civil, des divergences notables se sont manifestées dans la jurisprudence relative aux Architectes et surtout à leur responsabilité — et ici, Messieurs, ce que je dis à propos des Architectes s'applique aussi exactement à tout Ingénieur civil, non fonctionnaire public, dirigeant des constructions — et ces divergences sur la responsabilité des Architectes, que ceux-ci agissent comme locateurs d'ouvrages ou comme mandataires de leurs clients, ont vivement préoccupé la Société centrale des Architectes dès sa fondation en 1840.

C'est pourquoi, en dehors de Commissions spéciales instituées d'une façon toute temporaire pour assister un confrère engagé dans une instance judiciaire déterminée et d'une Commission, dite du contentieux, nommée chaque année pour connaître des questions litigieuses soulevées le plus souvent par un confrère au cours de constructions, la Société a, à de longs intervalles, nommé trois Commissions permanentes chargées, la première, de préparer et les deux autres de reviser un important ouvrage, *le Manuel des Lois du bâtiment*, dont la deuxième édition, parue de 1878 à 1881, ne comprend pas moins de cinq volumes in-8°, et ces Commissions ont dû plus particulièrement étudier, avec l'aide du Conseil judiciaire de la Société, la portée de certains arrêts de la Cour de cassation ou des diverses Cours d'appel pouvant établir la jurisprudence sur cette question si controversée de la Responsabilité des Architectes.

Qu'il me soit permis de rappeler que, par une fâcheuse confusion qu'expliquent l'état de la société au commencement de ce siècle et le grand nombre d'Architectes alors à la fois Architectes et Entrepreneurs généraux, le Code civil assimile, dans plusieurs de ses articles, l'Architecte et l'Entrepreneur et ne fait pas de différence entre le premier qui dirige la construction d'un édifice public ou privé dont il a dressé les plans et devis et dont il vérifiera les mémoires, et le second qui exécute cette construction d'après les plans et devis dressés par le premier.

En outre, à côté de ces préoccupations que causait à nombre de mes

confrères, la plupart experts près les Tribunaux civils ou les Cours d'appel, cette grosse question de l'étendue et du délai de leur responsabilité, il est un autre genre de préoccupations qui les obsédait et que vous comprendrez de reste : je veux parler des graves inconvénients résultant de la longue durée et du coût excessif des frais de procédure lorsqu'il faut épuiser tous les degrés de juridiction et porter successivement un litige d'un Tribunal civil à une Cour d'appel et de cette Cour d'appel à la Cour de cassation pour revenir parfois à une autre Cour d'appel et une seconde fois à la Cour de cassation, laquelle rend alors, toutes Chambres réunies, un arrêt fixant la jurisprudence.

A peine est-il utile et il ne paraitra pas exagéré de mentionner un laps de temps de dix années et une dépense de plusieurs milliers de francs, comme parfois nécessaires pour obtenir enfin justice et faire résoudre une question de doctrine à propos d'une espèce donnée.

Or, les Architectes sont loin d'être tous riches et même aisés; ils ne sortent pas tous de l'Ecole nationale des Beaux-Arts de Paris qui possède, depuis quelques années, un cours destiné à les familiariser avec la législation du bâtiment ; de plus, ils ont généralement une crainte instinctive et salutaire des procès; car, quelle qu'en soit l'heureuse issue, les procès les détourneraient de leurs occupations habituelles et leur sembleraient toujours devoir jeter quelque défaveur sur leur considération : aussi bien vive fut l'émotion générale des membres de la corporation lorsque, le 5 juin 1883, on apprit que notre honoré confrère, M. Henri Parent, sortait enfin triomphant d'une lutte engagée contre lui dès le 29 novembre 1873 pour des travaux terminés depuis 1863, lutte qu'il avait dû soutenir devant le Tribunal civil de la Seine, la Cour de Paris, la Cour de cassation, la Cour d'Amiens et enfin, une seconde fois, devant la Cour de cassation.

Tous les Architectes supputaient ce qu'avait dû dépenser d'énergie et aussi d'argent M. Henri Parent, alors dans la force de l'âge et dans une situation aisée, et tous se demandaient combien de plus jeunes, de plus timorés et aussi de moins fortunés se seraient laissés aller à transiger et à compromettre ainsi ou tout au moins à retarder la délivrance d'un arrêt de la Cour de cassation qui, comme celui du 5 juin 1883, fixe nettement les conditions de durée dans lesquelles court, pour raison des vices et malfaçons imputés aux Architectes, la responsabilité décennale édictée par les articles 1792 et 2270 du Code civil.

C'est pourquoi un Congrès des Architectes et des Ingénieurs, qui se tint à Nice au commencement de l'année 1884, avait-il inscrit à l'ordre du jour de ses séances une conférence sur *la Responsabilité de l'Architecte*, et, dans cette conférence faite le 12 février 1884, M. Achille Hermant, alors vice-président de la Société centrale des Architectes français, insista tout particulièrement avec grande autorité sur cette émotion avec laquelle tous les Architectes avaient suivi les phases multiples du procès intenté à M. Henri Parent et sur cette nécessité inéluctable, pour tous les membres de la corporation, de se prêter mutuellement assistance judiciaire.

A la suite de cette conférence, le Congrès adopta par acclamations le vœu « qu'il fût constitué à Paris une Commission permanente dont le

personnel, l'organisation intérieure et les ressources financières seraient à régler, et qui aurait pour but de constituer la solidarité des intérêts des Architectes et des Ingénieurs exerçant la profession d'Architecte, en prenant à sa charge les procès et les solutions des difficultés intéressant le corps tout entier ».

Il faut dire, au sujet de cette union des Architectes et des Ingénieurs proposée dans ce vœu, que le Congrès de Nice avait été organisé par la Société des Architectes et des Ingénieurs du département des Alpes-Maritimes, Société qui, peu après, se dissolvait et faisait place à Nice à une Société exclusivement composée d'Architectes, l'Association régionale du Sud-Est de la France; mais s'il n'est plus question d'Ingénieurs dans ce qui va suivre, il est indubitable que tout Ingénieur exerçant en France la profession d'Architecte et rien que la profession d'Architecte se trouve intéressé au succès de la Caisse de défense mutuelle des Architectes, peut faire partie de cette Association en se conformant à ses statuts et peut, par conséquent, faire appel à cette caisse en cas de difficultés relatives aux intérêts généraux de la profession d'Architecte.

Le Congrès de Nice avait de plus chargé M. Ach. Hermant de transmettre à la Société centrale des Architectes, le plus important et le plus autorisé des groupements d'Architectes français, son vœu de création d'une *Commission permanente d'assistance judiciaire* et, acceptant cette mission, la Société centrale fit le nécessaire pour que, à bref délai, par ses soins et à ses frais, dès le 29 mai 1884, un projet de statuts, non plus d'une Commission d'assistance mais d'une *Caisse de défense mutuelle des Architectes*, projet inspiré en partie par la loi récemment promulguée pour favoriser la création de Syndicats professionnels, fût adopté en principe par la Société centrale et voté quinze jours plus tard, le 13 juin 1884, par les membres de la quatorzième session annuelle du Congrès des Architectes français.

De fait, la Caisse de défense mutuelle des Architectes était fondée. Cependant ce ne fut qu'un an plus tard, le 12 juin 1885, qu'eut lieu la première assemblée générale constitutive de l'Association et que, le 29 juin suivant, les Statuts définitivement adoptés, le Règlement, une première liste de *cent soixante-deux membres* dont *neuf Sociétés adhérentes*, et la composition du Conseil judiciaire, âme véritable de l'Association, furent adressés à M. le Préfet du département de la Seine, conformément aux prescriptions de l'article 4 de la loi du 21 mars 1884 relative à la création des Syndicats professionnels.

Je m'en voudrais, Messieurs et honorés Collègues, de retenir votre attention sur les Statuts et le Règlement de l'Association : ceux d'entre vous qu'intéresserait le détail de son mécanisme pourront consulter ces Statuts et Règlement à la Bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils : je veux seulement insister sur ce point, c'est que la Caisse de défense mutuelle ayant, par ses Statuts mêmes, pour président, le Président de la Société centrale des Architectes français, peut s'honorer à bon droit d'avoir été successivement présidée par les grands artistes qui ont nom : Questel, Bailly, Garnier et Daumet.

Mais, dès cette année 1885, la Caisse de défense mutuelle fonctionna et, dans la première séance de son Comité d'administration tenue le

24 juin 1885, une première affaire lui était soumise sous la double forme d'une demande de consultation judiciaire et de concours pécuniaire, et cette double demande eut pour réponse, peu après, sur l'avis d'un membre du Conseil judiciaire et le rapport d'une Commission, la prise en considération de l'affaire et le versement d'une somme de 500 *f* destinée à aider l'Architecte d'un hospice dans le centre de la France, à déférer au Conseil d'État un arrêté de Conseil de préfecture rendu sur une double question de responsabilité de l'Architecte mis en cause et de l'insuffisance des honoraires à lui alloués : disons tout de suite que cette première affaire fut gagnée près de cinq ans plus tard.

Je n'entrerai pas, Messieurs, dans le détail des travaux de ces neuf années pendant lesquelles l'institution s'affermit, se développa et atteignit assez rapidement la troisième place parmi les groupements professionnels d'Architectes français, après la Société centrale des Architectes à laquelle son origine, ses statuts et la communauté de siège social la relient par de si étroites attaches, et après l'Association provinciale des Architectes français dont le siège est à Lyon et qui comprend dans sa sphère d'action vingt Sociétés régionales ou départementales représentant les Architectes de quarante-huit départements; mais vous me permettrez de terminer ce rapide exposé en résumant les données générales de la Caisse de défense mutuelle telles qu'elles ressortent de l'*Annuaire pour 1894* paru en mars dernier, et du *Tableau* dressé pour faire figurer cette Association dans le groupe de l'Economie sociale de l'Exposition universelle internationale de Lyon, annuaire et tableau déposés dans la bibliothèque de la Société des Ingénieurs civils.

Comme toutes les Associations qui se fondent sur des principes sinon nouveaux mais mal connus et peu appréciés dans les milieux professionnels où on essaie de les mettre en vigueur, la Caisse de défense mutuelle eut des commencements difficiles. Des décès dus à l'âge déjà avancé des premiers adhérents, des démissions, ces dernières provenant d'adhésions peut-être trop légèrement données, paralysèrent son développement normal pendant les six premiers exercices, de juin 1885 à juin 1891, et, lors de l'assemblée générale de clôture de l'exercice 1890-1891 tenue le 19 juin 1891, l'Association ne comptait encore que *deux cent trente-huit membres;* mais, pendant ces trois derniers exercices, *cent quatre-vingt-six adhésions* sont venues augmenter considérablement l'effectif de l'Association et, défalcation faite des diminutions causées par les décès ou les démissions, le nombre total des adhérents, membres résidents et non résidents et Sociétés adhérentes — lesquelles participent comme les autres membres aux charges sociales — s'élève aujourd'hui à *quatre cent cinq* se répartissant ainsi :

Membres résidents	203
Sociétés adhérentes ayant leur siège à Paris	2
Membres non résidents	179
Sociétés adhérentes ayant leur siège dans les départements.	21
TOTAL.	405

et dans ce nombre, comme on le voit, les membres non résidents et les Sociétés des départements figurent pour près de la moitié, pour un chiffre

de *deux cents* se répartissant dans *cinquante départements*, ce qui fait de la Caisse de défense mutuelle des Architectes une Association française autant que parisienne.

Les affaires étudiées par le Comité d'administration avec le concours du Conseil judiciaire et soumises à diverses juridictions ou seulement, en une ou plusieurs fois, à sa seule appréciation, ont atteint le chiffre de *cent cinq* et, parmi ces affaires, en dehors de questions toutes générales au point de vue professionnel et qui se posent aussi bien à Lille qu'à Lons-le-Saulnier, à Lyon qu'à Bordeaux ou à Paris, plus de la moitié ont été adressées au Comité par des Architectes ou par des Sociétés des départements.

Une somme de plus de *douze mille cinq cents francs* a été consacrée au véritable but de l'Association, à la participation aux frais de justice causés à ses membres par des affaires présentant un point de vue d'intérêt général et dans lesquelles le Comité d'administration, outre les excellents avis qu'il a demandés et obtenus pour eux du Conseil judiciaire, les a soutenus ou les soutient encore pécuniairement dans *trente et une* affaires devant des Tribunaux civils, des Cours d'appel, des Conseils de préfecture, le Conseil d'État et la Cour de cassation, et la Caisse de défense mutuelle a obtenu déjà, avec eux et pour eux, gain de cause dans *onze* sur *vingt* de ces affaires, les seules aujourd'hui terminées devant ces diverses juridictions.

Notons, en passant, que, sur ces *trente et une* affaires prises en considération et soutenues par le Comité, *vingt-quatre* concernent des Architectes des départements et, parmi elles, *sept* ont été gagnées devant le Conseil d'État contre des arrêtés de Conseils de préfecture concernant des travaux communaux.

Aux dépenses en frais de justice, doit s'ajouter une somme de *quinze cents francs* pour *jetons d'or* et *jetons d'argent* : les premiers offerts tout à fait exceptionnellement (*deux* seulement ont été frappés jusqu'ici pour des membres du Conseil judiciaire ayant refusé tout honoraire dans une importante affaire), et les seconds remis en souvenir de toute consultation ou de toute présence aux séances d'un membre du Conseil judiciaire.

Une somme de *dix-sept mille francs* a été dépensée depuis neuf années en frais de publication ou de propagande et en frais d'administration.

Les publications comprennent *quinze numéros de bulletins* donnant les listes des membres, les procès-verbaux des séances du Comité d'administration et des Assemblées générales, les comptes rendus annuels du secrétaire et du trésorier et des documents judiciaires : arrêts, arrêtés et jugements ou même les consultations données par le Conseil judiciaire et indiquant la jurisprudence spéciale à consulter dans une espèce donnée : elles comprennent aussi la publication de documents dans le journal *l'Architecture*, organe de la Société centrale des Architectes français.

Parmi les numéros des bulletins, il en est un qui mérite une attention toute particulière : c'est un *Memorandum judiciaire*, dressé par Me J. Bétolaud, avocat à la Cour d'appel, secrétaire du Conseil judiciaire de l'Association, memorandum revu et augmenté sur plusieurs épreuves successives par les divers membres de ce Conseil, suivant leur profession.

Ce travail, fait en vue des seuls besoins de l'Architecte et s'abstenant,

en conséquence, de tous développements relatifs aux juridictions étrangères à cette profession, renferme les attributions, les limites de compétence et les délais des voies de recours relatifs aux différentes juridictions civile, commerciale, administrative et pénale; il a rencontré une faveur spéciale auprès des jurisconsultes et semble appelé à rendre les plus grands services aux personnes qui, comme beaucoup d'Architectes, peuvent se trouver lancées dans la pratique des affaires sans posséder une connaissance élémentaire du droit. En l'éditant, le Comité n'a pas eu la prétention d'éviter aux membres de l'Association de consulter leur avocat ou leurs officiers ministériels; mais il a eu l'intention de prévenir les Architectes de l'opportunité de ces conseils et aussi de la nature des diverses juridictions auxquelles il fallait avoir recours, ainsi que des délais variables pendant lesquels il fallait y recourir.

Les frais de propagande comportent, outre l'établissement et la distribution de *trois tableaux* envoyés aux Expositions universelles de Paris (1889), de Chicago et d'Auxerre (1893) et de Lyon (1894), le tirage et l'envoi de certains documents sous forme de numéros de bulletins à tous les Architectes qui, sans être membres de la Caisse de défense, appartiennent à la Société centrale des Architectes, à l'Association amicale des Architectes diplômés par le gouvernement, et aux Sociétés régionales ou départementales d'Architectes, tous confrères qui, statutairement, peuvent adhérer à la Caisse de défense sur leur simple déclaration écrite d'en faire partie.

Les frais d'administration consistent en déboursés de secrétariat et de trésorerie et en loyer et agence; mais ces derniers frais sont versés sous forme d'une part contributive dans les frais généraux de la Société centrale des Architectes français.

Un fonds de réserve de *sept mille cinq cents francs* a été récemment constitué en valeurs garanties par l'État et doit s'augmenter d'une partie des droits d'entrée, de dons et de rentrées de dépens dont il est parlé ci-dessous.

L'avoir en caisse est actuellement de *deux mille cinq cents francs.*

Enfin, pour achever cet exposé financier, les sommes perçues jusqu'à ce jour : droit d'entrée de *trente francs*, cotisation annuelle de *douze francs*, intérêts du capital placé, dons et recouvrement du montant des condamnations aux frais et dépens acquittés par des tiers au profit des membres de l'Association, dépassent actuellement *quarante mille francs.*

La Caisse de défense mutuelle des Architectes a obtenu à l'Exposition universelle de Paris, en 1889, *une médaille d'argent* dans la section III (syndicats professionnels) du groupe de l'Économie sociale, et à l'Exposition universelle d'Auxerre, en 1893, *une médaille de bronze* dans la section II (prévoyance et assistance) du groupe de l'Économie sociale; en outre, la Société centrale d'Architecture de Belgique s'est inspirée de ses statuts pour créer, dès 1891, à Bruxelles, un Comité de défense juridique des Architectes, qui, lui aussi, est en voie de progrès.

Telle est aujourd'hui la Caisse de défense mutuelle des Architectes, syndicat professionnel relevant à la fois de la *Société d'Etudes juridiques professionnelles*, ainsi qu'en témoignent les documents de jurisprudence, les consultations et le memorandum judiciaire publiés dans ses bulletins,

et de la *Caisse d'Assurances mutuelles* ainsi que le prouve le versement de nombreux subsides employés à soutenir des procès engagés sur des questions professionnelles d'intérêt général, subsides fournis par la cotisation annuelle de tous les membres.

Il me reste, Messieurs, à m'excuser d'avoir retenu si longtemps votre attention sur un syndicat professionnel se développant normalement et travaillant beaucoup en faisant le moins de bruit possible; mais il m'a semblé que ce syndicat, réunissant déjà un certain nombre d'Architectes, pouvait, par sa création, par sa marche lente mais assurée et par ses premiers succès, suggérer d'utiles réflexions et même la création d'institutions analogues, et vous voudrez bien pardonner à un collègue, qui en est le secrétaire depuis l'origine, d'avoir mis peut-être quelque complaisance à vous le présenter dans ses grandes lignes.

M. le Président se fait un plaisir d'adresser les remerciements de la Société à M. Ch. Lucas pour son très intéressant travail, dans lequel les Ingénieurs trouveront aussi bien que les Architectes un précieux enseignement.

M. A. Moreau a été vivement frappé par ce qu'il vient d'entendre dire par M. Lucas, mais il voudrait lui demander un éclaircissement sur un point un peu délicat. Il est bien probable que parmi les demandes d'assistance judiciaire, présentées par les adhérents, il doit s'en trouver quelques-unes dont les prétentions peuvent ne pas être justifiées ; comment le Comité parvient-il sans causer de froissements à refuser l'intervention demandée?

M. Ch. Lucas répond que l'Association est assistée du Conseil judiciaire dont il a été parlé et auquel sont soumises toutes les demandes avant leur prise en considération, et que, suivant l'avis de ce Conseil, la Commission peut refuser d'agir; grâce à cette manière de procéder, qui est du reste indiquée par les Statuts, on arrive à éviter les abus ou les procès trop douteux.

M. Fleury a la parole pour sa communication sur le *Congrès maritime de Londres en 1893*.

M. Fleury rappelle, en commençant, que la permanence de l'institution des Congrès des travaux maritimes est due au dévouement d'un ingénieur éminent. M. Emile Bernard, ancien directeur du service des phares et balises, qui vient d'être enlevé cette semaine à l'estime de tous ceux qui avaient eu le bonheur d'apprécier ses rares qualités de savant, d'administrateur et d'homme de bien. M. Fleury tient, au début de cette communication, à rendre un suprême hommage à cette mémoire respectée. M. Fleury expose que le premier Congrès international de Travaux maritimes s'est tenu à Paris en 1889. Son succès a encouragé à en tenir d'autres, et celui de Londres, l'an dernier, en est une conséquence directe. Son organisation est en très grande partie l'œuvre d'un Ingénieur anglais très distingué, M. Vernon-Harcourt, qui connait mieux que personne les choses et les hommes du continent. Il s'est tenu dans l'hôtel de l' « *Institution of Civil Engineers* » à Londres, sous la présidence de lord Brassey, fils du célèbre entrepreneur qui, au milieu de ce siècle, a exécuté dans le monde entier tant de travaux considérables, en particulier ceux de la ligne de Paris à Rouen, à une époque où notre pays

n'était pas encore initié à ces grandes œuvres. A ses côtés, siégeaient le Président du *Board of Trade*, le lord-maire de Londres, sir Charles Knill, le directeur des constructions navales de l'amirauté, sir Charles Tupper, le président des Ingénieurs civils, M. A.-P. Giles, sir Thomas Sutherland et plusieurs autres notabilités du monde industriel et maritime. M. Fleury tient à mentionner particulièrement parmi ceux qui ont droit à la gratitude du Congrès et des membres étrangers, en particulier, M. Vernon-Harcourt, qui fût l'âme de la réunion, et l'obligeant et aimable M. James Forrest, secrétaire des Ingénieurs civils de Londres ; M. Fleury leur adresse, au nom de tous les membres de la Société présents au Congrès, — et ils étaient nombreux, — ses plus chaleureux remerciements pour leur cordiale réception. *(Applaudissements.)*

Le Congrès s'était partagé en quatre sections ayant pour objet d'étude les questions suivantes :

Ports et jetées; docks et outillage des ports; constructions navales; phares et signaux.

Pour ne pas abuser du temps de la Société, M. Fleury ne signalera, dans chaque section, que les points les plus saillants.

Dans la première section, les divers modes de construction des brise-lames et des jetées a donné lieu à des discussions approfondies. La tendance de ce qu'on pourrait appeler l'école française actuelle est de construire les ouvrages directement exposés au choc des lames, ces gros blocs artificiels arrimés, afin d'utiliser la résistance du frottement des surfaces en contact et de construire ces blocs en maçonnerie plutôt qu'en béton. Le béton les inquiète à deux points de vue, sa porosité et la décomposition des mortiers par l'eau de mer. L'école anglaise n'a pas ces scrupules; elle recommande la construction des jetées monolithiques en béton, soit coulé directement, comme à Newhaven, soit en grands sacs comme à Sunderland. Les appréhensions des Français ont été exposées brillamment par M. Quinette de Rochemond, que la Société se souvient d'avoir entendu ici-même, à l'occasion de l'amélioration de la Seine maritime. Elles ont été appuyées par M. Knipple, qui a rappelé les expériences faites à New-York par le général Newton, et qui ne sont pas en faveur du procédé anglais.

Une autre question, celle des entrées de port sur les plages sablonneuses, comme celles des Flandres, entre autres, a été ensuite débattue. Malgré les efforts de M. de Mey, Ingénieur du port d'Ostende, le Congrès a admis qu'une entrée orientée directement dans le vent dominant n'était pas dans les conditions les plus favorables, et que les chasses étaient un moyen fort insuffisant d'assurer la profondeur du chenal. L'on a rappelé les succès du dragage par succession sur les côtes hollandaises, ainsi qu'à Dunkerque, Calais et Boulogne, et on a entendu avec un vif intérêt le rapport présenté par le fils du célèbre M. Lyster, sur les travaux d'approfondissement de la barre de la Mersey. M. Fleury donne quelques détails sur la grande drague le *Brancker* qui exécute ce travail, grâce auquel l'entrée de la Mersey sera d'ici quelques années assurée aux plus grands navires à toute heure de la marée. Il renouvelle le vœu, qu'il a plus d'une fois exprimé, de voir ce grand exemple imité, ne fût-ce qu'à titre d'essai, à l'entrée du Havre et dans la Seine maritime.

M. Fleury signale dans les travaux de la deuxième section les descriptions des Docks de Londres. Il insiste sur la tendance, générale aujourd'hui, à une amélioration des opérations d'embarquement et de débarquement. Il cite, à ce sujet, l'aspirateur de grains de Milwall-Dock, et les appareils de chargement du charbon, récemment installés à Newport. Il rappelle aussi les chambres frigorifiques destinées à la conservation des viandes qui arrivent d'Australie et d'Amérique.

L'Angleterre a été seule à fournir des mémoires à la troisième Section qui s'occupait spécialement de la construction maritime.

Sir Thomas Sutherland, le président de la Grande Compagnie de Navigation, Péninsulaire et Orientale, a rappelé les progrès considérables accomplis depuis un demi-siècle, dans la navigation maritime. Il y a quarante ans, une tonne de charbon brûlée dans le foyer ne produisait qu'un déplacement de 17 *t* à la vitesse maxima de 8 nœuds : il y a six ou sept ans, à 1 *t* de charbon correspondait un déplacement de 100 *t* à la vitesse de 16 nœuds. Aujourd'hui, sur les grands steamers transatlantiques, c'est 125 *t* à 19 et 20 nœuds de vitesse. L'économie des dépenses, la sécurité n'ont pas fait de moindres progrès. L'assurance est aujourd'hui le quart de ce qu'elle coûtait autrefois. Les pertes d'existences dans la marine anglaise ont été en moyenne de 1 547 hommes, dans la période de 1886 à 1890; au lieu de 1 747 en 1876-1880. Et cependant, il y a 30 000 hommes de plus sur les navires en 1890 qu'en 1877, et les parcours ont augmenté de plus de 50 millions de milles nautiques. En parlant des relations de la Grande-Bretagne avec le continent, M. Seaton a rendu hommage aux remarquables qualités nautiques des steamers la *Tamise* et la *Seine* construits par les Forges et Chantiers. M. Daymard a rappelé les conditions spéciales de la navigation du canal de la Manche, auxquelles ces deux navires répondent si complètement. Parlant des transatlantiques, M. Daymard s'est joint à M. Biles pour faire ressortir que la vitesse exige une plus grande longueur, qu'une plus grande longueur exige un plus grand enfoncement, et celui-ci à son tour, exige des ports plus profonds. Quatre pieds d'enfoncement de plus permettraient, d'après M. Biles, un allongement de 100 pieds. Ces questions ont été reprises plus en détail et développées dans un mémoire de M. Donny, sur les rapports qui doivent s'établir entre les armateurs et les constructeurs.

La quatrième Section, consacrée aux Phares et Signaux, a été pour nos compatriotes le théâtre d'un grand et légitime succès. C'est une des branches de l'art de l'Ingénieur où la France a acquis, tout d'abord avec l'illustre Fresnel, et a conservé une supériorité incontestée. Nous en avons eu un nouveau témoignage à Londres, où nos Ingénieurs et nos Constructeurs, dont plusieurs sont membres de notre Société, ont été l'objet des justes louanges des Ingénieurs de tout pays. M. Fleury ne s'y arrêtera cependant pas. Il a l'espoir que l'un des plus éminents constructeurs de phares, notre collègue Barbier, voudra bien entretenir un jour la Société des progrès réalisés dans cet art difficile. Il termine en rappelant l'accueil cordial fait aux Ingénieurs français par leurs collègues anglais, et il cède la parole à notre jeune collègue, M. Georges Hersent, qui doit compléter sa communication.

M. G. HERSENT prend ensuite la parole pour compléter la communication sur *Le Congrès de Londres.*

L'une des premières visites, dit M. G. Hersent, a été pour le pont de la Tour de Londres, dont la construction était alors en pleine activité.

La disposition générale de ce pont est assez originale : elle comporte trois travées, dont deux de 81 *m* d'ouverture et une, au milieu, ayant seulement 60 *m*.

Les travées latérales sont une sorte de pont suspendu où les câbles ont été remplacés par deux éléments rigides, ayant leur point d'attache aux sommets de deux tours et dont la jonction inférieure est faite par un axe en acier. Cet axe a 0,75 *m* de diamètre.

La travée centrale est franchie, au niveau général de la voie, par deux ponts-levis, dont l'ouverture laisse passage à la navigation. Il existe, en outre, une communication supérieure avec deux passerelles réunissant les sommets des tours qui s'élèvent sur les deux piles en rivière.

Ces passerelles, desservies à leurs extrémités par des ascenseurs, doivent assurer le passage des piétons, pendant l'ouverture des ponts-levis. Le passage supérieur est à 42 *m* au-dessus des hautes eaux de Trinity-House, ce qui assure, à toute époque, le transit.

Le pont donne passage à une voie carrossable de 11,80 *m* avec deux trottoirs de 4 *m* de largeur. Le pont-levis est constitué par quatre poutres de 4,50 *m* d'écartement bien entretoisées entre elles. L'axe-pivot passe par le centre de gravité du système, qui est équilibré avec un contrepoids de 37 *t* de plomb. Les deux arbres de rotation des ponts-levis sont en acier coulé et ont 0,525 de diamètre et 14,40 *m* de longueur; ils pèsent chacun 25 *t* environ. Chaque moitié du pont-levis représente 400 *t*.

Les manœuvres sont entièrement faites par l'hydraulique, dont l'installation a été faite en double, pour prévoir tout accident.

Les fondations des deux tours en rivière reposent sur l'argile londonnienne, qui peut résister à 4 *kg* par centimètre carré.

Chaque pile a été faite à l'aide de dix caissons juxtaposés et enveloppant le massif de fondations, qui a 30 *m* sur 68. Le fonçage des caissons se faisait, dans la première période, avec des plongeurs et l'emploi de cuillers Priestamm, pour l'extraction des matériaux; puis, après un enfoncement de quelques pieds dans cette argile compacte, la descente des caissons se continuait à l'air libre, après épuisement. Ce procédé a été plus long et surtout plus coûteux qu'avec l'emploi d'un caisson unique.

Sur chaque pile s'élèvent quatre colonnes octogonales, en acier, bien entretoisées entre elles; leur hauteur est de 40 *m* et leur diamètre de 1,66 *m*. Ces colonnes sont réunies par un plancher, à 20 *m* au-dessus du tablier et par un autre plancher, 9 *m* plus haut. A leur sommet, elles supportent les passerelles à piétons et les poutres de suspension des travées latérales.

Les travaux du pont, qui ont été commencés en juin 1886, devaient se terminer en quatre ans, mais ils ont duré environ le double : le pont vient seulement d'être terminé.

Le prix total s'est élevé à 20 750 000 *f* et il comporte 14 000 *t* d'acier,

70 000 m^3 de béton, 31 000 000 de briques, 6 580 m^3 de granit et de pierre et 20 000 *t* de ciment.

Cette visite, dirigée par M. John Wolf Barry, l'auteur du projet, a été, comme on le voit, très intéressante.

Pour terminer, rappelons que toute la partie métallique de l'ouvrage a été construite par sir William Arrol, de Glasgow, l'un des entrepreneurs du pont du Forth et que les fondations ont été faites par M. John Jackson, de Westminster.

Une dizaine de projections photographiques montrant les divers états d'avancement des travaux de fondations et de la superstructure complètent cette communication.

M. Georges Hersent donne ensuite quelques détails sur le *Chemin de fer électrique qui réunit la Cité aux quartiers Sud de Londres*. Ce chemin inauguré à la fin de 1890, bien qu'il ne soit déjà plus une nouveauté, offrait des particularités intéressantes pour une partie des membres du Congrès. Son parcours, en tunnel, a une longueur de 3 milles, desservis par sept stations, et il traverse la Tamise un peu en amont du pont de Londres. Cette traversée de la rivière est faite par deux tunnels séparés qui, sur une grande partie du trajet, sont parallèles, mais, en arrivant à la Cité, ils se superposent pour occuper le moins de place possible.

Le diamètre des tunnels est de 3,15 *m*, leur revêtement est fait par une série d'anneaux en fonte de 0,50 *m* de longueur. Ces tunnels ont été construits sur les plans de M. J.-H. Greathead avec l'emploi d'un bouclier métallique pressé contre le terrain par six presses hydrauliques. L'emploi de l'air comprimé a été inutile, le terrain étant suffisamment étanche.

L'installation pour la production du courant électrique est située à Stockwell, l'un des terminus de la ligne; elle comprend trois grandes dynamos du type Edison Hopkinson actionnées par des machines compound verticales d'une force de 375 *ch* indiqués. Chaque dynamo peut développer un courant de 450 volts et 450 ampères, avec un rendement de 75 0/0 sur la force indiquée des machines.

Le conducteur électrique est une barre d'acier très conductible placée sur isolants en verre.

L'exploitation de la ligne est faite par quatorze locomotives, d'une force de 100 *ch*; chacune traîne deux wagons permettant de transporter environ cent personnes, et leur vitesse est de 40 *km* à l'heure.

Dans les stations, le tunnel a un revêtement en briques émaillées blanches qui multiplie beaucoup l'éclat des lampes électriques.

Plus en aval, les membres du Congrès ont aussi visité les travaux du *tunnel de Blackwall*, actuellement en construction. Ce tunnel, d'une longueur totale de 1 860 *m* dont 363 *m* sous la Tamise, doit servir à établir une communication de voitures et de piétons. Son diamètre intérieur sera de 7,50 *m*.

Le mode de travail employé est à peu près le même que celui qui a servi à l'exécution des tunnels des chemins de fer électriques. Seulement, en raison de la perméabilité des couches du lit de la rivière, on a dû prévoir l'emploi de l'air comprimé. L'hydraulique est employée pour une grande partie des manutentions et pour la mise en place des mor-

ceaux du blindage en fonte. Les abords du tunnel seront en plan incliné, l'aération se fera par quatre grands puits de 17,50 *m* de diamètre, dont deux sur chaque rive. Telles sont les données principales de cet important travail qui coûtera environ 20 millions.

M. G. Hersent ne dit que quelques mots sur les docks de Londres. Cet outillage commercial gigantesque comprend les « London and Sainte-Catherine Docks », avec leurs nouveaux bassins, les « Victoria and Albert Docks », les « East and West Indian Docks », les Tilbury Docks », leurs nouvelles annexes ouvertes en 1886, les « Millewall Docks », les « Surrey Commercial Docks », etc.

Les premiers de ces docks représentent un capital de 280 millions environ, les seconds environ 144 millions; ces chiffres avec le mouvement annuel de 52 000 navires et 13 216 946 *t* sont suffisants pour éviter tout commentaire. Leur organisation et leur exploitation ont d'ailleurs donné lieu à différentes communications auxquelles il suffirait de se reporter.

Il est pourtant utile de signaler l'installation des chambres frigorifiques pour la conservation de la viande. Le froid y est maintenu à l'aide de machines à détente d'air comprimé.

Le *canal de Manchester* fait ensuite l'objet d'une dizaine de projections, montrant successivement un plan d'ensemble de cet ouvrage très considérable (le canal a 56 *km* de longueur et 51,60 *m* de largeur au niveau de l'eau); puis une carte indiquant la répartition des populations intéressées au canal. Ce document montre très clairement combien la sphère d'attraction de Manchester est plus considérable comparée à celle de Liverpool.

Viennent ensuite une vue du barrage de décharge des eaux du canal par temps de crue; le bassin de Partington avec ses installations pour le chargement du charbon; les écluses d'Irlam; les dragues avec tablier porteur, le pont métallique de Warburton et le pont canal tournant de Barton.

Les docks de Liverpool, ceux de Birkenhead, sur l'autre rive de la Mersey. Le bassin du Canada avec sa disposition assez curieuse de canalisation dans les murs avec orifices ménagés dans le chenal des écluses et le long des murs du quai : installation qui sert à pratiquer des chasses en se servant de la différence de niveau dans les bassins et permet de mettre ainsi les vases en suspension à la marée descendante.

Le chemin de fer sous la Mersey, avec quelques détails sur la construction du tunnel, la ventilation forcée, l'installation des pompes et les ascenseurs hydrauliques donnent également lieu à des communications accompagnées de projections.

Après avoir donné quelques renseignements sur les travaux d'approfondissement de la Clyde qui, depuis 1827, a successivement été creusée jusqu'à 18 pieds sous basse mer et que l'on veut encore à présent approfondir de 2 *m* en plus, M. G. Hersent parle de l'organisation des ports de commerce anglais et de leur régime administratif et financier.

Ces considérations sur les Sociétés commerciales, les Compagnies de chemins de fer et les corporations qui ont créé, avec leurs propres res-

sources, tout cet outillage maritime, ont un très grand intérêt au point de vue comparatif avec le système suivi en France.

M. le Président remercie MM. Fleury et G. Hersent de leur intéressante communication.

Il est donné lecture en première présentation de la demande d'admission de M. Paccard, comme membre sociétaire.

M. P. P. Guéroult est reçu comme membre sociétaire et MM. A. André et P. O. Vicq sont reçus comme membres associés.

La séance est levée à 11 heures.

LOCOMOTIVES A ADHÉRENCE TOTALE

POUR

COURBES DE PETIT RAYON

PAR

M. A. MALLET

INTRODUCTION

Le mémoire qui suit a été fait pour répondre à l'invitation adressée à la Société des Ingénieurs civils de France par le bureau de l'*American Society of Civil Engineers*, lui demandant d'engager ses membres à envoyer des travaux au Congrès international du Génie civil à Chicago; cette invitation a été portée à notre connaissance dans la séance du 5 août 1892 et rappelée dans celle du 3 février 1893. Ce mémoire se trouve être le seul qui ait été remis à la Société dans ces conditions; il a été lu le 1er août 1893 à la réunion de la division B (Mécanique) du Congrès international de Chicago. C'était l'unique travail venant de France qui ait été présenté dans cette division. Il a été publié en anglais sous le N° DXXXII dans le volume XIV des Transactions de l'*American Society of Mechanical Engineers*, chargée de la publication des mémoires de cette division.

M. le Président de notre Société, appréciant le mobile qui avait inspiré la rédaction d'un travail destiné à faire connaître aux Etats-Unis des progrès aujourd'hui incontestés et dont l'origine est entièrement française, et considérant, en plus, l'intérêt d'actualité de la question, a bien voulu autoriser la reproduction de ce mémoire dans nos *Bulletins*.

La rédaction, forcément un peu hâtive, de cette note nous avait obligé à en écarter des développements qui n'auraient pas été inutiles. Nous avons cru intéressant de les ajouter ici avec quelques faits récents et quelques observations se reliant intimement au sujet; mais, pour respecter la rédaction primitive du travail, nous avons préféré donner à ces développements et compléments la forme de notes additionnelles qu'on trouvera à la suite du mémoire.

LOCOMOTIVES À ADHÉRENCE TOTALE

POUR

COURBES DE PETIT RAYON

PAR

M. A. MALLET

MÉMOIRE

Lu au Congrès international du Génie Civil à Chicago le 1er Août 1893.

Considérations générales. — On sait qu'à l'origine des chemins de fer, il fallut quelque temps pour convaincre les ingénieurs que la simple adhérence des roues des machines sur les rails était suffisante pour permettre l'avancement des premières sur les seconds et que les inventeurs dépensèrent beaucoup d'intelligence pour parer à la difficulté imaginaire du manque d'adhérence.

Si, depuis une vingtaine d'années, d'autres moyens, tels que l'emploi de crémaillères et de roues dentées, ont été introduits dans l'exploitation des chemins de fer de montagne, établis pour des buts spéciaux et d'une importance secondaire, et ont donné lieu à de très intéressantes applications, il n'en est pas moins exact de dire que l'adhérence naturelle est, depuis l'origine et encore aujourd'hui, d'une manière à peu près exclusive, la base fondamentale de la traction par locomotives sur rails.

Les premiers chemins de fer (1) étaient sensiblement de niveau et on écartait à grands frais les inclinaisons supérieures à quelques

(1) Il s'agit ici de chemins de fer à locomotives; lorsqu'on ne pouvait éviter des inclinaisons un peu fortes sur des longueurs relativement faibles, on franchissait ces plans inclinés par des machines fixes, par exemple, aux chemins de la Loire, à Liège, à Aix-la-Chapelle, Saint-Germain, etc. Le remplacement de ces moteurs par des locomotives a été une des premières raisons qui aient conduit à la construction de locomotives puissantes.

millimètres. Dans ces conditions, l'adhérence d'une seule paire de roues suffisait presque toujours pour remorquer les charges en usage à l'époque; rarement on était obligé de recourir à l'accouplement de deux paires. Avec le développement des voies ferrées, on arriva à accoupler trois essieux; jusque-là, pas de difficultés avec les courbes de grand rayon usitées alors.

Peu à peu les chemins de fer durent aborder des régions moins faciles que celles par lesquelles ils avaient débuté; on commençait à se préoccuper de franchir les chaînes de montagnes qui séparaient des contrées voisines. L'emploi d'inclinaisons plus fortes s'imposait; il fallait donc, pour traîner des charges rémunératrices sur les nouveaux profils, demander plus à la locomotive, mais le problème se compliquait, on va voir pourquoi.

Lorsqu'on a à franchir une différence de niveau, si on se donne une inclinaison maxima, il faut que le tracé ait une longueur en rapport avec cette inclinaison, c'est-à-dire qu'il sera d'autant plus court que la rampe sera plus raide, cette réduction de longueur étant en général la raison d'être des déclivités considérables. Mais, comme les talus naturels des montagnes sont toujours beaucoup plus abrupts que les plus fortes pentes usitées sur les voies de communication, on est obligé de chercher la longueur nécessaire en développant le tracé sur le flanc des montagnes, en y décrivant des lacets et en pénétrant au besoin dans des vallées secondaires qu'on contourne pour allonger suffisamment le parcours. On est donc conduit à introduire dans le tracé de nombreuses courbes de rayon aussi réduit que possible. La nécessité de suivre de près le relief du sol pour éviter des terrassements importants et celle de contourner les contreforts et les autres obstacles naturels, au lieu de les percer ou de les franchir, vient encore s'ajouter à la considération précédente.

Coexistence des courbes de faible rayon avec les fortes rampes. — On peut dire, d'une manière générale, que, sur un tracé de chemin de fer, les fortes déclivités se trouvent naturellement associées avec les courbes de petit rayon et que ces deux difficultés viennent s'ajouter l'une à l'autre pour compliquer le problème de la locomotion.

En effet, si la présence de fortes inclinaisons exige l'emploi de machines d'un poids adhérent considérable, c'est-à-dire ayant un grand nombre d'essieux accouplés ensemble, d'autre part, l'existence de courbes de faible rayon nécessitant une certaine flexibi-

lité de la locomotive rend cet accouplement difficile sinon même impossible (1).

Difficulté de combiner la flexibilité avec l'adhérence totale pour de fortes locomotives. — Quelques tentatives isolées avaient été faites pour la construction de machines plus fortes que la moyenne courante, notamment par Verpilleux, Tourasse, Eugène Flachat, etc., mais elles n'avaient pas abouti à des applications d'un intérêt général (2).

Le concours ouvert en 1850 par le Ministère du Commerce et des Travaux publics d'Autriche, pour la meilleure locomotive propre à être employée pour la traversée des Alpes Noriques par le chemin de fer du Semmering, constitue dans l'histoire des chemins de fer une date peut-être aussi remarquable que celle du concours de Rainhill en 1829, d'où sortit la locomotive moderne.

Concours du Semmering. — Ce concours, il est vrai, n'a pas produit de résultats directs et immédiats, puisqu'aucune des machines qui y figurèrent ne fut adoptée, mais, bien que manqué en apparence, il permit d'étudier les conditions de fonctionnement des locomotives sur fortes rampes et apporta des indications précieuses sur les difficultés du problème; de plus, il déposa des germes utiles qui ne furent pas sans produire plus tard des résultats importants, comme on le verra ci-dessous.

Le tracé du Semmering présentait, entre Payerbach et Mürzzuschlag, sur 37 1/2 *km*, un profil comprenant des rampes maxima de 25 0/00 dont 3 581 *m* continus, des courbes de 285 *m* de rayon combinées avec ces rampes et des courbes du rayon minimum de 190 *m*. Disons en passant que ces conditions paraissent assez modérées en présence de certains tracés actuels de chemins de fer secondaires (3).

Ne devaient être admises aux récompenses que les machines qui se seraient montrées capables de remorquer d'une manière régulière des trains de 140 *t* sur la rampe de 25 0/00, à la vitesse de 11 1/2 *km* à l'heure. La charge par essieu ne devait pas dépasser

(1) Il est énoncé comme axiome dans l'ouvrage classique en Allemagne *Handbuch für specielle Eisenbahn Technik*, vol. III, page 923, qu'une locomotive de montagne doit, pour mériter ce nom, réunir les trois conditions suivantes : 1° porter ses approvisionnements; 2° pouvoir passer facilement dans les courbes de faible rayon; 3° avoir la totalité de son poids utilisable pour l'adhérence, une telle locomotive doit donc être une locomotive-tender, flexible et à adhérence totale.

(2) Voir la note A, à la fin du mémoire, page 578.

(3) Voir la note B, page 579.

14 *t* et la pression de la vapeur dans la chaudière 8 1/2 *kg* par centimètre carré.

Quatre locomotives furent présentées et furent soumises aux épreuves dans l'été de 1851. Ces locomotives étaient :

1° *Bavaria*, par Maffei, de Munich *(fig. 1, Pl. 105)*, machine à deux cylindres actionnant sept essieux, dont deux placés sous le tender; ces sept essieux étaient divisés en trois groupes et réunis, dans chaque groupe, par des bielles d'accouplement et, de groupe à groupe, par des chaînes sans fin. Cette locomotive, détail peu connu, était munie de la détente variable du système Meyer, et on a, à l'époque, attribué à cette particularité les avantages économiques montrés par cette machine. Le diamètre de la chaudière était de 1,60 *m*, valeur énorme alors et qui n'a été réalisée depuis que très rarement.

2° *Wiener-Neustadt*, par Gunther, de Wiener-Neustadt *(fig. 2)*, machine ayant deux trucks à deux cylindres extérieurs et deux essieux chacun, placés sous une chaudière unique à tubes d'une longueur extraordinaire, 6,38 *m*. Cette machine portait ses approvisionnements.

3° *Seraing*, machine belge de John Cockerill *(fig. 3)*, construite, dit-on, sur les plans de J. Laussmann, chef du service des machines au chemin de fer Berg-Marches. Cette locomotive avait deux trucks à deux essieux et deux cylindres intérieurs chacun, sous une chaudière double ou deux chaudières réunies par les foyers; elle avait ses approvisionnements portés sur un tender séparé à deux essieux.

4° *Vindobona (fig. 4)*, machine construite dans les ateliers du chemin de fer de Vienne à Glognitz, ayant deux cylindres actionnant quatre essieux accouplés, dont le dernier à l'arrière du foyer. En réalité, c'était une machine à trois essieux accouplés à laquelle on avait ajouté un quatrième essieu à cause de la charge excessive sur les roues dans la disposition primitive. La chaudière était à section transversale ovale, ce qui explique le nombre considérable de tubes. La machine était suivie d'un tender porté sur trois essieux.

A cause de l'intérêt historique de ces locomotives, il a paru utile d'en reproduire les dimensions principales dans le tableau A ci-joint.

TABLEAU A

NOM DES MACHINES	BAVARIA	SERAING	WIENER-NEUSTADT	VINDOBONA	SYSTÈME ENGERTH
Surface de grille	1,80	2,20	1,70	—	1,17
Surface de chauffe totale	158	170 00	175 00	160	155 00
Pression à la chaudière	7	7	7,8	8	8,5
Nombre de tubes	250	340	180	288	189
Longueur des tubes	4,26	3,19	6,38	3,25	4,80
Nombre de cylindres	2	4	4	2	2
Diamètre des cylindres	0,506	0,408	0,329	0,420	0,475
Course des pistons	0,762	0,685	0,632	0,578	0,620
Nombre de roues	14	8	8	8	10
Diamètre des roues	1,070	1,060	1,106	0,948	1,110
Écartement des essieux parallèles	2,950	2,144	2,305	—	2,29
Écartement des essieux extrêmes	11,00	8,237	8,120	4,500	6,06
Poids maximum en service	68 300	55 280	61 000	47 260	56 100
Charge par essieu	9 700	13 800	15 250	11 800	11 200
Effort de traction à 0.65	8 270	9 800	6 400	5 600	7 150
Coefficient d'adhérence	1 à 8,2	1 à 5,6	1 à 9,5	1 à 8,5	1 à 7,8

Outre les quatre machines, il avait été présenté au concours un grand nombre de projets émanant d'ingénieurs ou constructeurs allemands, belges et français, comprenant des machines doubles, des machines à accouplement par bielles triangulaires, à engrenages, à rail central, etc.; aucun de ces projets ne parut exécutable (1).

Les quatre machines remplirent les conditions absolues du programme : la première, la *Bavaria*, très largement; la dernière, la *Vindobona*, strictement. La locomotive bavaroise, qui présenta une régularité très remarquable de vitesse, de pression et de consommation de combustible et une supériorité constante pour la puissance et l'économie, fut classée première par le jury; elle fut donc acquise par le Gouvernement aux conditions fixées par le programme, c'est-à-dire au prix de 240 000 *f* environ. Les autres, ayant également satisfait aux épreuves, furent aussi acquises, ce qui n'empêcha pas qu'immédiatement après le concours ou peu de temps après, toutes ces machines, jugées plus ou moins incapables de faire un service régulier, furent reléguées sous un hangar dans une station éloignée de la ligne où on pouvait les voir encore quelques années après, abandonnées à la rouille en attendant l'heure de la démolition.

(1) Voir la note C, page 581.

Il est juste de dire que la *Bavaria* ne dut, en réalité, la victoire qu'à la très faible durée des épreuves ; on ne la maintint en état de fonctionner qu'en passant les nuits à réparer les chaînes de sa transmission. Il est non moins remarquable que c'est précisément de cette machine primée, seule, qu'il n'est rien resté. La *Seraing* a été le prototype de la machine Fairlie, la *Wiener-Neustadt* celui de la machine Meyer, enfin la *Vindobona* se trouve être la première machine à huit roues couplées, au moins des chemins de fer européens, mais la *Bavaria* n'a jamais été reproduite ni de près ni de loin.

Machines Engerth. — On sait que l'exploitation du Semmering fut faite par des machines combinées par l'éminent ingénieur autrichien Engerth, et qui ont reçu son nom. C'étaient des machines (*fig. 5*) ayant cinq essieux, dont trois sous la chaudière et deux sous le tender ; les roues de chaque groupe étaient accouplées par des bielles, et les deux groupes étaient réunis ensemble par des engrenages ; le tender était articulé avec la machine par une charnière sphérique, et portait une partie du poids de la chaudière. Les cylindres étaient au nombre de deux, et placés extérieurement, dans la position habituelle, à l'avant. Cette disposition permettait de réaliser l'adhérence totale, tout en laissant à l'ensemble de l'appareil une flexibilité suffisante. Mais les engrenages de la machine Engerth ne résistèrent pas en service, et c'est sous une forme incomplète, comme machine à adhérence partielle, que ce système fut employé, sur une grande échelle, en Europe, ce qui, on en conviendra, ne justifie que peu le succès, très réel bien qu'éphémère, qui l'accueillit, surtout, il faut le dire, à cause du nom de son auteur, et des conditions dans lesquelles ce système avait pris naissance.

La machine Engerth ne fut, en réalité, qu'une machine-tender à adhérence partielle, d'une disposition très compliquée. On obtient aujourd'hui le même résultat en mettant sous l'arrière d'une puissante machine-tender un truck pivotant à deux essieux, ce qui est beaucoup plus simple. Nous donnons, dans le tableau précité, les dimensions principales de la machine Engerth du Semmering.

Une tentative fut faite quelques années après, pour faire revivre le système Engerth sous sa forme complète, en remplaçant les engrenages par un système d'accouplement articulé. Ce fut le système appliqué, vers 1861, sur la machine autrichienne *Steïerdorf* et deux autres. Il échoua, d'ailleurs, complètement en pra-

tique, quoi qu'on en ait dit à l'époque. Si on ne rencontrait encore, sur deux ou trois chemins de fer, quelques rares machines Engerth qu'on achève d'user, il ne resterait plus que le souvenir d'un système qui a joué, dans l'histoire de la locomotive, un rôle considérable, bien qu'imparfaitement justifié par sa valeur réelle.

Le problème de la machine adhérente et flexible est resté, depuis, toujours ouvert, et la construction des chemins de fer économiques est venue, en lui donnant un nouvel intérêt, susciter de nombreux projets de solutions.

Problème de la locomotive flexible à adhérence totale. Deux genres de solutions. — On peut dire, d'une manière générale, que les diverses solutions qu'on a proposé d'apporter au problème de la construction d'une machine ayant un grand nombre d'essieux accouplés, quatre à six, et douée d'une flexibilité suffisante pour circuler dans des courbes de faible rayon, peuvent toutes rentrer dans les deux catégories suivantes :

1° Les systèmes dans lesquels les essieux commandés par le nombre ordinaire, deux, de cylindres sont reliés ensemble par des dispositifs propres à permettre à ces essieux de s'inscrire dans la courbe, par déplacement parallèle ou radial ; à cette classe appartenait la machine *Bavaria*, et on peut y ranger les systèmes Engerth, Steierdorf, Dredge et Stein (bielle centrale triangulaire), Beugniot, Roy, Rarchaert, Larpent, Gouin, Klose, etc., pour ne parler que des plus connus (1). Si on excepte le jeu latéral donné aux essieux, et qu'on peut considérer comme un expédient propre à donner de la flexibilité aux machines, le seul système rentrant dans cette catégorie employé actuellement est le système Klose, sur lequel nous reviendrons plus loin.

2° Les systèmes dans lesquels le nombre total d'essieux de la machine est divisé en deux groupes indépendants pouvant se déplacer obliquement, l'un par rapport à l'autre, dans les courbes, et actionnés chacun par une paire de cylindres. Cette classe comprend les machines *Wiener-Neustadt* et *Seraing*, du concours du Semmering, et les systèmes Verpilleux, Sturrock, Meyer, Fairlie, Johnstone, Flachat, Thouvenot, Tourasse, Boutmy, etc., les derniers restés à l'état de projet, tandis que les autres ont reçu des applications plus ou moins importantes (2). On peut, aussi, ranger dans cette catégorie les machines indépendantes, attelées ensemble

(1) Voir la note D, page 583.
(2) Voir la note E, page 595.

dos à dos, dont l'idée est attribuée à Crampton, et employées aux Giovi, au Victor-Emmanuel et les machines construites plus récemment par Neilson, pour l'Inde anglaise.

On peut dire que ce sont les machines de ce second groupe qui ont eu le plus de succès relatif dans la pratique, surtout les machines Fairlie et Meyer, bien que la complication inévitable de leurs organes ait été un obstacle à leur développement.

C'est également à cette catégorie que se rattache la machine qui fait l'objet de cette note, et à laquelle ont donné naissance les considérations suivantes.

Système de l'auteur. — On a depuis longtemps, pour faciliter le passage des locomotives dans les courbes, fait, surtout en Amérique, reposer l'avant des machines sur un truck pivotant, le plus souvent à deux essieux. Supposons une machine de ce genre ayant à l'arrière deux essieux accouplés, commandés par une paire de cylindres, et à l'avant, un truck à deux essieux, simplement porteur. Cette machine circulera très facilement dans les courbes, mais elle n'aura qu'une partie de son poids utilisé pour l'adhérence, et ne pourra, par conséquent, pas traîner sur de fortes rampes des charges en rapport avec son poids total. Si nous faisons actionner les roues du truck par une paire de cylindres de volume convenable placée sur ce truck, et que nous alimentions ces cylindres par la vapeur d'échappement des cylindres d'arrière, cette combinaison très simple aura produit trois résultats :

1° Nous aurons permis à la machine d'utiliser tout son poids pour l'adhérence ;

2° Nous aurons supprimé la plus grande difficulté du tuyautage articulé des machines *Wiener-Neustadt*, *Seraing*, Meyer et Fairlie, en ce que le tuyautage mobile de la nouvelle machine, formant communication entre les deux groupes de cylindres, ne donnera passage qu'à de la vapeur à pression réduite, 4 à 4 1/2 *kg* par centimètre carré, au plus ;

3° On aura réalisé un type de machine relativement peu compliqué, qui se justifie par des avantages de diverses natures.

C'est ce système qui, désigné par le nom de l'auteur, a reçu également l'appellation de machine compound articulée ou « compound duplex ». Le nom le plus juste serait, peut-être, machine à avant-train articulé et moteur.

Il est facile de voir que ce système réalise, sur les solutions analogues présentées jusqu'ici, une très grande simplification en

ce qu'il n'y a qu'un truck au lieu de deux, et un seul tuyau articulé à faible pression, au lieu de deux à haute pression.

Ce système a été étudié par l'auteur dès 1876, et présenté par lui, dès 1884, sous sa forme actuelle. Il a été réalisé pour la première fois, en 1887, dans les conditions suivantes :

Machines de ce système pour les chemins de fer Decauville. — Il s'agissait d'établir, pour des chemins de fer Decauville à voie de 0,60 *m*, en rails de 9 1/2 *kg* par mètre courant, des machines dont le poids devait atteindre douze tonnes, et qui devaient pouvoir circuler dans des courbes de 15 à 20 *m* de rayon. Le poids du rail conduisait à l'emploi de quatre essieux, et le faible rayon des courbes était incompatible avec l'accouplement des quatre essieux par les moyens ordinaires. Le projet présenté par l'auteur parut répondre aux conditions du programme, et une première machine fut exécutée. Elle fonctionna au mois de juin 1887 ; son succès fut complet et amena la construction d'un grand nombre de locomotives de ce système pour les voies de 0,60 *m*, 0,75 *m* et 0,80 *m* (types nos I, II et III, du tableau B, page 571).

Les figures ci-contre montrent la disposition générale en plan et en élévation, ainsi qu'une coupe longitudinale (1). On voit que le châssis de la machine se divise en deux parties réunies par une articulation en forme de charnière verticale. La partie arrière est fixée à la chaudière, et l'avant de celle-ci repose sur le châssis antérieur par des glissières qui permettent le déplacement angulaire de l'avant par rapport à l'arrière dans les courbes. Les cylindres du groupe arrière étant les cylindres à haute pression, le tuyautage qui leur amène la vapeur de la chaudière est fixe comme dans les locomotives ordinaires ; les deux groupes de cylindres sont reliés par un tuyau longitudinal formant *receiver* et qui porte, près de la charnière réunissant les deux châssis, un coude vertical tournant dans un presse-étoupes ; cette articulation est la seule, avec celle du tuyau d'échappement dans la cheminée, et, comme on l'a dit précédemment, elle n'a à résister qu'à des pressions relativement faibles. Le reste de la machine ne présente que peu de particularités. Les transmissions de mouvement pour le changement de marche, les freins, etc., se font par des tringles articulées qui ne présentent ni complication sérieuse, ni difficulté

(1) Ces figures se trouvent sur la planche XIII du *Bulletin* de juillet 1890 de la Société des Ingénieurs civils de France où sont représentés les types I, IV, VII, VIII et X du tableau B. Nous avons pensé inutile de les reproduire ici. Les types II, III, V, VI et IX sont figurés sur la planche 107 jointe au présent mémoire.

d'installation. Toutes ces parties sont beaucoup plus simples que les parties correspondantes des machines Fairlie et Meyer.

Il n'entre point dans le cadre de cette note d'étudier ces machines comme machines compound, mais l'auteur croit devoir insister sur ce fait, que l'emploi de la double expansion, qu'il a été le premier à introduire sur les chemins de fer, il y aura bientôt vingt ans, a un rôle capital dans cette disposition, en ce que cet emploi permet de simplifier considérablement le tuyautage. Un arrangement de ce genre se comprendrait plus difficilement dans le système ordinaire, car le tuyautage y serait beaucoup plus compliqué et malaisé à installer.

Comme on vient de le dire, il a été fait déjà beaucoup de ces machines pour les voies à faible écartement, surtout du système Decauville ; il s'en trouve presque dans toutes les parties du monde. L'application la plus connue est celle du chemin de fer intérieur de l'Exposition universelle de 1889, à Paris, où six machines de ce type, fonctionnant seize heures par jour, ont, en six mois, effectué un parcours de 113 500 *km* et transporté plus de six millions de voyageurs. Cette épreuve sévère a mis en évidence le caractère tout à fait pratique du système.

Il a été fait des machines de ce genre, et notablement plus fortes, pour les chemins de fer à voie de 0,80 *m* des mines de Blanzy (type n° III) (1). Si l'auteur cite cette application, c'est pour bien faire voir que ce système a d'autres avantages que ceux qui dérivent de l'emploi du fonctionnement compound, car, dans les houillères, l'économie de combustible ne doit pas être une considération bien importante. Or, un fait qui prouve le succès de cette application est que, non seulement la Compagnie des mines de Blanzy a fait deux commandes successives de ces machines, mais encore qu'elle en a recommandé l'emploi à d'autres Compagnies minières, notamment aux houillères de Kebao, au Tonkin, qui s'en servent également.

Machines pour voie de 1 m. — Le système a été appliqué ensuite à la voie de 1 *m* pour laquelle il a été construit plusieurs types, dont le plus puissant (type n° VI) est celui qui a été fait pour le chemin de fer de Landquart à Davos, en Suisse, et qui pèse plus de 40 *t* en service. Cette ligne, située dans la région alpestre du canton des Grisons, est, paraît-il, celle des lignes à locomotives

(1) *Fig. 2, Pl. 107.*

et adhérence qui atteint la plus forte altitude en Europe ; son point culminant, Wolfgang, est à 1 633 *m* au-dessus du niveau de la mer (1). Elle comporte des rampes allant jusqu'à 45,20/00.

Chemin de fer de Landquart à Davos. — Pour donner une idée du profil en long de ce chemin de fer, il suffira de dire que la différence de niveau entre Wolfgang, le point le plus élevé, et Landquart, point de départ sur la ligne de Sargans à Coire, distants l'un de l'autre de 43 524 *m*, est de 1 106,7 *m*, ce qui fait une déclivité moyenne de 25,4 0/00.

Entre Kublis et Wolfgang, station éloignée de 22 081 *m* de la première, la différence de niveau est de 820,6 *m*, soit une déclivité moyenne de 37,1 0/00, et enfin, de Kloster-Platz à Laret, deux stations successives distantes de 8 180 *m*, la différence de niveau est de 331,15 *m*, donnant une déclivité moyenne de 40,4 0/00 (2). Le rayon des courbes descend à 100 *m*.

La traction était faite d'abord par des machines Mogul à trois essieux accouplés et un essieu porteur à l'avant pesant en service 29 *t*, dont 24 *t* de poids adhérent. Ces machines ne traînaient que 45 *t* sur les rampes de 45 0/00. On leur a adjoint, en 1890, deux machines compound articulées, du poids indiqué plus haut, qui traînent 70 à 80 *t* sur le même profil. En remontant les rampes de 45 avec 70 *t* de charge à 18 *km* à l'heure, ces machines développent environ 390 *ch*, soit tout près de 5 *ch* par mètre carré de surface de chauffe, cette dernière étant de 80 m^2, et ce travail doit être soutenu pendant un temps prolongé. Ces machines de la voie de 1 *m* (type n° VI) (3) sont plus puissantes que la moyenne des locomotives à marchandises de la voie normale. M. C.-S. du Riche-Preller, dans un travail inséré au numéro du 30 décembre 1892 du journal *Engineering*, dit que sur le chemin de fer de Landquart à Davos, ouvert entièrement au trafic en 1890, deux locomotives Mallet, de 40 *t*, construites par Maffei, à Munich, font le service des trains de marchandises et des trains mixtes et que, par l'emploi de ces machines, la consommation de combustible est tombée de 58 à 38 livres par mille, ou de 16,3 à 10,7 *kg* par kilomètre, soit une économie de 34 0/0.

(1) Les plus fortes altitudes qu'on rencontre en Europe au-dessous de ce chiffre pour les chemins de fer à adhérence sont : 1 600 *m* pour le chemin de fer Rigi-Scheidegg-Kaltbad, 1 367 *m* pour la traversée du Brenner et 1 300 *m* pour celle du Guadarrama.

(2) Il y a sur cette partie une rampe continue de 4 087 *m* de longueur composée de 2 203 *m* de 45, 503 de 40, 492 de 45, 432 de 40 et 455 de 24,9, avec de nombreuses courbes descendant à 100 et 110 *m* de rayon.

(3) *Fig. 3, Pl. 107.*

Chemins de fer de la Corse. — Comme exemple de la puissance développée par les locomotives de ce système, on peut encore citer les machines de 33 *t* à voie de 1 *m* des chemins de fer de la Corse (type n° V) (1) qui traînent des trains de voyageurs de 50 *t* à la vitesse de 33 à 35 *km* à l'heure sur des rampes continues de 30 0/00, combinées avec des courbes de 100 à 150 *m*, rampes ayant plus de 5 *km* sans interruption. Le travail correspondant est de 360 *ch*, ce qui, pour 68 m^2 de surface de chauffe, donne 5 1/4 *ch* par mètre carré (2).

Il est facile de comprendre que ce système ait eu un réel succès sur les chemins de fer secondaires, parce qu'il permet d'accroître les charges traînées sans augmenter la fatigue des rails. Une machine à trois essieux ayant un poids adhérent de 3, une machine à quatre essieux aura un poids adhérent de 4 ; la puissance est donc pour cette dernière de 33 0/0 plus grande ; si, de plus, la première a un essieu porteur à l'avant ou à l'arrière, comme c'est généralement le cas maintenant, le poids total des deux machines sera peu différent et la machine articulée, outre sa plus grande puissance, aura l'avantage d'éprouver moins de difficulté pour passer dans les courbes. C'est ce que l'expérience a prouvé dans de nombreux cas. Ainsi, au chemin de fer d'intérêt local de Montereau à Château-Landon, les machines ordinaires à quatre essieux, dont trois accouplés, pesant 21,2 *t* en service, dont 16,5 de poids adhérent, traînent au plus 70 *t* sur rampes de 25 0/00, tandis que les machines compound articulées (type n° IV) pesant 24,7 *t* dont la totalité de poids adhérent traînent 100 *t* sur le même profil. De plus, ces machines réalisent sur les premières une économie de combustible allant de 15 à 22 0/0 et même plus par tonne remorquée, suivant l'importance de la charge remorquée (3).

Machines pour voie normale. — Les applications faites jusqu'ici sur la voie normale sont moins nombreuses, mais leur importance est très sérieuse et les dernières qui viennent d'être réalisées semblent faire prévoir l'emploi prochain de ce système sur une grande échelle dans des chemins de fer de premier ordre.

Machines du Central-Suisse. — En 1889-90, le chemin de fer Central-Suisse a fait construire par la maison Maffei, de Munich, les constructeurs de la *Bavaria*, du concours du Semmering, six ma-

(1) *Fig. 6, Pl. 407.*
(2) Voir la note F, page 596.
(3) *Revue générale des Chemins de fer*, septembre 1891, page 101.

chines compound articulées à quatre essieux (type n° VIII) pesant 60 *t* en service. Ces locomotives étaient destinées à desservir la section de Sissach à Olten qui comprend de fortes rampes allant jusqu'à 27 0/00 dont un tunnel de 2 520 *m* établi avec cette déclivité. Ces six machines ont donné des résultats assez favorables pour que la Compagnie en ait commandé dix nouvelles du même modèle, ce qui lui en fait actuellement seize (1); ces machines ne sont plus localisées sur la section du Hauenstein; elles sont appliquées au service général des trains de marchandises sur tout le réseau. On peut citer, à l'appui des résultats obtenus, l'extrait suivant d'une lettre adressée par le service de la traction au constructeur, en date de juillet 1892 :

« Répondant à votre demande, je suis heureux de pouvoir vous donner des nouvelles très favorables au sujet des six machines Duplex fournies par votre maison. Ces machines font, comme vous le savez, en partie le service difficile du tunnel du Hauenstein, en partie elles fonctionnent sur la grande ligne. Dans ce dernier cas, elles remplacent les machines à marchandises à six roues couplées, quoiqu'elles puissent traîner beaucoup plus.

» En ce qui concerne l'économie de combustible, on a constaté, pour les Duplex, par rapport aux machines à trois essieux couplés, une économie de 15 à 22 0/0 à travail égal.

» L'usure des pièces du mécanisme des machines Duplex a été presque nulle pendant un service de plus d'un an. »

Le meilleur témoignage de satisfaction est, évidemment, la seconde commande de dix machines semblables aux premières.

Le même constructeur a fourni en 1889 à la Compagnie du chemin de fer du Gothard une machine du même système, mais à six essieux divisés en deux groupes de trois, qui est la plus grosse locomotive qui existe sur les chemins de fer de l'Europe. Elle pèse 85 000 *kg* avec ses approvisionnements au complet.

Machine du Gothard. — Les raisons qui ont conduit à la réalisation de ce type sont moins le désir d'avoir une machine plus puissante que la machine ordinaire à huit roues couplées du Gothard que celui d'obtenir un surcroît de sécurité très important dans l'exploitation des lignes alpestres.

Cette machine ordinaire pèse 54 000 *kg* et a un tender séparé pesant 30 000 *kg* chargé. On se proposait, dans la construction de la nouvelle locomotive, de :

(1) Voir la note G, page 597.

Tableau B

	Voies au-dessous de 1 mètre			Voie de 1 mètre			Voie normale			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Surface de grille	0,48	0,68	0,93	0,78	1,05	1,44	1,65	1,54	1,96	2,20
Surface de chauffe totale	22,30	29,00	39,00	42,00	67,90	80,20	76,50	106,50	137,50	155,00
Timbre de la chaudière	12	12	12	12	12	12	12	14	12	12
Diamètre des petits cylindres	0,187	0,210	0,230	0'250	0,280	0,350	0,305	0,350	0,390	0,400
— grands —	0,280	0,320	0,350	0,380	0,425	0,490	0,460	0,540	0,600	0,580
Course des pistons	0,260	0,320	0,360	0,460	0,500	0,550	0,520	0,610	0,600	0,640
Diamètre des roues	0,600	0,720	0,800	0,900	1,000	1,050	1,200	1,200	1,260	1,230
Écartement des essieux de chaque groupe	0,850	1,000	1,100	1,150	1,400	1,600	1,450	1,680	1,750	2,700
Écartement des essieux extrêmes	2,800	3,400	3,750	4,000	4,670	5,200	5,000	5,580	5,800	8,130
Capacité des caisses à eau	1 400	1 800	1 900	3 000	3 700	3 500	3 700	7 200	—	7 000
Poids de la machine vide	9 300	12 500	15 000	19 000	26 000	32 500	28 000	43 500	49 500	67 000
— en service	11 700	16 000	19 000	24 500	33 000	40 500	36 000	58 500	55 500	85 000
Effort de traction	1 800	2 400	2 900	3 800	4 800	6 000	5 000	8 500	8 700	10 000
Poids du rail	9,5	12	15	18	22	23,5	25	37	—	37 à 48
Rayon minimum des courbes	15	20	25	40	50	70	55	90	100	120

Le type IX est à tender séparé, le type X est à 6 essieux.

1° Remorquer, avec le même poids total de moteur, et sans augmentation de la fatigue des rails, les mêmes trains dans des conditions d'adhérence plus favorables, de manière à donner une garantie contre les chances de rester en détresse dans les tunnels si nombreux sur cette ligne ou par le mauvais temps;

2° Remorquer des charges plus fortes dans les conditions climatériques favorables;

3° Réaliser une vitesse plus considérable avec les mêmes charges;

4° Présenter moins de résistance dans les courbes de 300 *m* de rayon;

5° Réaliser une économie de combustible à charge remorquée égale. On comprend l'intérêt de cette dernière question pour des machines qui brûlent par kilomètre plus de 30 *kg* d'un combustible coûtant 33 *f* la tonne rendu sur place.

La nouvelle machine a réalisé toutes les conditions de ce programme et, depuis deux ans qu'elle est en service, on n'a pu constater aucun inconvénient qui vînt contre-balancer les avantages obtenus.

Il est facile de voir, au point de vue de la première condition, que, pour un train de 200 *t*, moteur non compris, la machine de l'auteur doit traîner 285 tonnes pour une adhérence de 85 à 73 au minimum, soit sensiblement 4 pour 1, tandis qu'on demande à la machine ordinaire 284 *t* pour une adhérence de 54, soit 5,2 pour 1. L'avantage de la première machine au point de vue de l'adhérence est donc de 23 0/0.

Quelques détails sur cette locomotive, qui est le type n° X du tableau B (1) ne sont pas sans intérêt. On voit qu'il y a six essieux divisés en deux groupes : le groupe d'arrière, solidaire avec la chaudière et actionné par deux cylindres à haute pression; le groupe d'avant, commandé par deux cylindres à basse pression et articulé avec le précédent par une cheville ouvrière placée à peu près au milieu de la longueur de la machine. La chaudière a 8,30 *m* de longueur et 1,47 *m* de diamètre; elle contient 191 tubes de 4,50 *m* de long. Elle est fixée d'une manière invariable au châssis arrière et repose sur le châssis avant par des glissières noyées dans l'huile; le déplacement latéral de l'avant-train est réglé par des ressorts placés de chaque côté dans la partie antérieure de la machine. Les

(1) Un diagramme de cette locomotive ainsi qu'un de celles du Central-Suisse ayant été donnés dans le *Bulletin* de juillet 1890, pl. XIII, de la Société des Ingénieurs civils de France, nous avons cru inutile de les reproduire dans les planches qui accompagnent ce mémoire.

distributions, du système Walschaerts, commandent des tiroirs Trick ; elles sont reliées ensemble avec manœuvre unique à vis. Dans les deux groupes, les ressorts des essieux les plus rapprochés du milieu sont, de chaque côté, accouplés par des balanciers égalisateurs et les deux ressorts des essieux extrêmes sont réunis par un balancier transversal. Le freinage s'opère par quatre sabots pour chaque groupe, lesquels sont commandés par un cylindre à vide; il y a donc deux de ces cylindres; de plus, les sabots du groupe arrière peuvent être serrés à la main. Les caisses à eau sont disposées latéralement à la chaudière et la soute au charbon est à l'arrière de la machine. Il y a deux sablières, une pour chaque groupe d'essieux, avec manœuvre à la main commune pour les deux. La machine est pourvue d'un dispositif qui permet d'opérer le démarrage par l'action directe et indépendante de chaque paire de cylindres; il a paru prudent de prévoir cette faculté pour pouvoir démarrer au besoin des trains lourds sur les longues rampes de 26 et 27 0/0. Les autres machines de ce système ne sont généralement munies que d'un robinet auxiliaire permettant d'envoyer, pour faciliter le démarrage, de la vapeur de la chaudière directement au receiver. C'est suffisant pour la très grande majorité des cas.

Avant de partir pour la Suisse, la machine en question a été soumise à quelques essais sur les lignes de l'État bavarois ; elle a remorqué entre Munich et Schliersée, sur un profil comprenant des rampes de 16 0/00, un train de 43 wagons pesant 400 *t*, à une vitesse de 20 *km* à l'heure, ce qui représente un effort de traction de près de 10 000 *kg* et un travail de 750 *ch*, soit 4,8 *ch* par mètre carré de surface de chauffe. Au Gothard, elle traîne facilement, par beau temps, 220 *t* et, par les plus mauvais temps, 200 *t* alors que la charge des machines ordinaires est réglée à 175 *t*. On sait que le profil de la section de montagnes comporte de longues rampes de 25 et 26 0/00 qui s'élèvent même à 27 sur le versant sud, entre Giornico et Biasca.

Machines pour les chemins de fer allemands. — Enfin la Direction Grand-ducale des chemins de fer de l'État de Bade a commandé, dans l'automne de 1892, deux machines compound articulées à quatre essieux, mais avec tender séparé, destinées à faire, concurremment avec les machines ordinaires à quatre essieux accouplés, la traction sur le chemin de fer de la Forêt-Noire qui comporte de fortes déclivités et des courbes de faible rayon, et la Direc-

tion Royale de Cologne (rive gauche du Rhin) des chemins de fer de l'État prussien a commandé une machine semblable destinée au service ordinaire des marchandises sur l'ensemble de son réseau. Ces machines, fabriquées dans les ateliers de la Société Alsacienne de construction mécanique, à Grafenstaden, seront mises en service à la fin de 1893. Elles figurent sous le n° IX dans le tableau B des dimensions générales (1).

Système Klose. — On a dit plus haut que le seul système rentrant dans la première catégorie, c'est-à-dire où deux cylindres seulement commandent une réunion d'essieux avec disposition permettant le déplacement radial de ceux-ci dans les courbes, qui soit employé actuellement est le système Klose.

M. Klose, ancien ingénieur des chemins de fer de l'Union suisse, actuellement directeur du matériel des chemins de fer wurtembergeois, a imaginé, il y a quelques années, un système d'accouplement fort ingénieux dont la figure 6, planche 105, peut donner une idée sommaire. Le bouton de manivelle de l'essieu moteur porte une sorte de losange dont deux sommets reçoivent les bielles d'accouplement des autres essieux; l'inclinaison du losange dans un sens ou dans l'autre permettra aux essieux de se rapprocher ou de s'éloigner, et, s'ils s'approchent d'un côté et s'éloignent de l'autre, le déplacement radial pourra se produire sans que l'accouplement des essieux en soit gêné. Les deux autres sommets des losanges sont reliés par un mécanisme de tringles et de bielles assez compliqué aux essieux mêmes, de façon que la convergence de ceux-ci se trouve connexe avec la variation de longueur des bielles d'accouplement. Ce système a été appliqué à des machines à voie de 0,76 *m* du chemin de fer de Bosnie et à de grosses machines à cinq essieux des chemins de fer de l'État de Wurtemberg, ces dernières compound à trois cylindres.

Comparaison du système Klose avec le système de l'auteur. — Dans un article inséré dans le *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* du 24 décembre 1892, M. Helmholz, ingénieur en chef de la maison Krauss, de Munich, a fait une comparaison entre la machine Mallet et la machine Klose dans laquelle il établit comme suit les avantages respectifs de chacun des deux systèmes par rapport à l'autre.

(1) Voir la note H, p. 598, et la figure 5, Pl. 107.

Système Mallet :

1. — Moindre résistance propre de la machine par suite du moins grand nombre d'essieux accouplés ensemble ;

2. — Meilleure utilisation de la vapeur par suite de l'emploi du fonctionnement compound, d'où possibilité, à surface de chauffe égale, de réaliser le même effort à une plus grande vitesse ;

3. — Moindre complication, les pièces ordinaires étant simplement en duplicata.

Système Klose :

1. — Plus grande stabilité pour un même rayon minimum des courbes, d'où plus grande vitesse possible ;

2. — Meilleure utilisation de l'adhérence parce que, dans la machine Mallet, il faut régler l'effort d'après la charge de chaque groupe. On ne peut avec cette dernière compter que sur une adhérence de 1/8e, tandis qu'avec la machine Klose, on peut descendre à 1/6e et même 1/5e. D'où plus grand effort de traction à poids égal ;

3. — Suppression de tout tuyautage articulé.

L'auteur croit que l'infériorité attribuée sur ces trois points à son système par M. Helmholz n'existe pas en pratique :

1° Les machines de ce genre ne sont jamais destinées à aller vite. Cependant avec des ressorts de réglage de l'avant-train bien disposés, on a pu réaliser sans inconvénient des vitesses de 50 à 60 *km* à l'heure avec des roues de 1,20 *m* de diamètre. L'expérience l'a démontré à plusieurs reprises. On ne peut demander plus à des machines qui sont en définitive l'équivalent de machines à 8 roues accouplées.

2° L'adhérence peut être employée exactement à la même limite que dans les machines ordinaires, à la seule condition de proportionner dans chaque groupe l'effort à la charge portée par ce groupe et cela seulement pour l'effort maximum. En général, les deux groupes sont également chargés, il suffit donc de faire faire l'effort des pistons égal sur chacun des groupes. Rien n'est plus facile, puisqu'il suffit de réaliser cette égalité pour l'effort maximum, le seul qui soit à considérer. En fait, on atteint journellement des efforts correspondant à des adhérences bien plus

fortes que 1/8e. Au chemin de fer de Montereau à Château-Landon déjà cité, les machines de 24 tonnes ont traîné souvent 108 tonnes sur rampe de 25 0/00 avec courbes de 100 *m*. L'effort est donc de tout près de 4000 *kg* et correspond au sixième du poids maximum de 24 tonnes de la machine Il serait facile de multiplier ces exemples (1).

3o Lorsque le tuyautage articulé se réduit à une seule pièce donnant passage à la vapeur à 4 ou 4 1/2 *kg* de pression, on ne doit pas attacher d'importance à cette question, surtout en présence de la formidable quantité de tringles et de leviers de la machine Klose. Certains ingénieurs se font un épouvantail de l'emploi d'un joint articulé et, pour éviter une difficulté imaginaire, absolument comme dans l'affaire de l'adhérence insuffisante au début des chemins de fer, ils ne craignent pas de se jeter dans des complications vraiment excessives.

Comparaison avec le système Johnstone. — L'auteur croit que c'est le cas de la machine Johnstone, du chemin de fer central mexicain, dont il ne conteste pas d'ailleurs l'extrême ingéniosité (2). Si on compare cette machine à la machine du Gothard, décrite ci-dessus, on trouve qu'elle a de plus que celle-ci une chaudière, quatre roues, quatre cylindres, huit tiges de piston, quatre bielles motrices et une quantité de traverses, tringles, etc., le tout en grande partie pour éviter un seul joint mobile à basse pression qui, appliqué sur plus de cent machines dont les premières fonctionnent depuis six ans, n'a jamais donné lieu à la moindre difficulté.

Conclusions. — En résumé, on doit considérer comme établi que la construction d'une locomotive à adhérence totale et flexibilité suffisante d'un caractère tout à fait pratique est une question d'un intérêt réel et important, puisque, depuis de nombreuses années, tant de personnes ont cherché et cherchent encore sa solution (3).

L'intérêt de ce problème peut se formuler d'une manière simple et complète comme suit :

1o Fournir aux lignes existantes des machines ayant plus de puissance de traction et fonctionnant plus économiquement que

(1) Voir note F, page 596.
(2) Voir note D, page 583.
(3) Voir note I, page 599.

les machines actuelles, sans augmentation de la charge des rails ou de la résistance au passage des courbes;

2° Permettre de construire de nouvelles lignes ayant, à capacité égale, des rayons plus faibles et des rails plus légers que ceux qu'exigent les machines actuelles.

Personne ne contestera que la solution de ce double problème ne doive exercer une influence favorable sur les dépenses de construction et d'exploitation des chemins de fer lorsque ceux-ci doivent être établis avec les profils accidentés qu'amène presque toujours maintenant la configuration des régions où doivent être tracées beaucoup de lignes nouvelles.

L'auteur pense enfin que le système qui a fait l'objet de cette note remplit les conditions qu'on peut exiger d'une machine de ce genre.

Il ne saurait donner de meilleure preuve en faveur de l'efficacité et du caractère pratique de ce système que ce fait, que, simple Ingénieur civil, n'étant attaché ni à une Compagnie de chemins de fer, ni à une Société de construction de machines, il a réussi, avec le concours, il est vrai, de constructeurs éminents, à faire faire en quatre ou cinq années, 110 locomotives (1) de ce modèle de toutes dimensions pour vingt Administrations différentes dont quelques-unes de premier ordre. Pour qui connaît la difficulté d'introduire, dans les conditions précitées, un changement aussi radical dans l'industrie des chemins de fer, la preuve paraîtra péremptoire.

(1) Voir la note J, page 605.

Paris, mars 1893.

ANNEXES

Note A (page 560).

Avant 1850, les plus fortes machines destinées à exercer un effort de traction considérable à vitesse réduite avaient six roues couplées et ne pesaient pas plus de 25 *t* en service.

La première locomotive à laquelle on ait appliqué trois essieux accouplés ensemble paraît avoir été le *Royal George* en 1827, construit par Hackworth ou plutôt provenant de la transformation par lui d'une locomotive construite par Wilson de Newcastle et ayant originairement quatre cylindres, soit une paire par essieu moteur (1). Un peu après 1830, on trouvait sur le chemin de Stockton à Darlington deux machines, la *Coronation* et le *Wilberforce* (2), construites par R. et W. Hawthorn, à Newcastle, ayant six roues couplées de 1,22 *m* de diamètre, des cylindres de 0,368 × 0,406 et une chaudière à retour de flamme avec foyer circulaire horizontal de 0,74 *m* et tubes de 0,044 *m* de diamètre. La surface de chauffe totale était, avec 106 tubes de 1,22 *m*, de 24,5 m^2 pour l'une et, avec 89 tubes de 2,44 *m*, de 38 pour la seconde machine. Le poids à vide était de 10 1/2 *t* et 12 1/2 en service. C'était un poids relativement élevé à une époque où les locomotives ordinaires ne pesaient que 7 à 8 *t*.

Les premières locomotives à six roues couplées qui aient été faites en France, paraissent être celles du chemin de fer de Saint-Etienne à Lyon, construites par Tourasse vers 1841 (3). Elles pesaient 18 *t* et avaient des roues de 1,30 *m* de diamètre et des cylindres de 0,36 × 0,42 ; la surface de chauffe atteignait 54 m^2.

Le *Mammouth*, de Stephenson (Orléans 1845), pesait 22 *t*, les locomotives à marchandises du chemin de fer du Nord, construites en 1846, 22 1/2 *t*, et celles du chemin de fer de Tours à Nantes, en 1848, 23 1/2 *t*. Les célèbres machines *l'Hercule* et *l'Antée*, construites pour le chemin de fer de Saint-Germain par Eugène Flachat, l'une en 1846, l'autre en 1849, pesaient 22 et 24 *t*. On peut citer, parmi les plus fortes de l'époque, les locomotives à six roues couplées de Maffei (4) pour le chemin de fer saxo-bavarois, en 1848, dont le poids était de 24 *t*.

C'est en 1850 seulement que furent construites par Kessler, à Esslin-

(1) *Locomotive Engineering*, par Zerah Colburn, p. 21.

(2) *A Practical Treatise on Railroads*, par N. Wood. Tableau n° 2. Dimensions des locomotives construites par Hawthorn. — *Origine de la locomotive*, par Deghilage, Pl. IV.

(3) *Publication industrielle des machines* d'Armengaud, t. III, p. 148.

(4) L'établissement Maffei, à Hirschau, près Munich, dont il est souvent question dans ce travail, est la plus ancienne fabrique de locomotives de l'Allemagne du Sud; fondé en 1841, il avait fait sa 600e locomotive en 1866 et sa 1 800e au 1er janvier 1894.

gen, des locomotives à six roues couplées pesant en service plus de 30 *t* pour la ligne wurtembergeoise de Geislingen à Ulm comportant des déclivités de 22 0/00. Pour avoir plus de poids, ces machines avaient des roues en fonte. Les premières grosses machines à six roues couplées du Nord français ne datent que de 1852.

Les premières machines à huit roues accouplées paraissent avoir été faites aux États-Unis, en 1844, par Ross Wynans, pour le service des trains de charbon sur le Baltimore-Ohio (1).

La première locomotive à huit roues accouplées, en Europe, est la *Vindobona*, du concours du Semmering, qu'on peut cependant considérer comme une machine transformée ; dans ce cas, la première locomotive réellement construite dans ce système serait la *Wien-Raab*, d'Haswell (2), qui figura à l'Exposition universelle de 1855, à Paris, et fut acquise par la Compagnie du chemin de fer du Midi ; elle ne pesait que 36 *t* en service, sans son tender. Il n'est que juste de rappeler qu'un Ingénieur français, Tourasse, déjà nommé plus haut, avait envoyé, pour le concours du Semmering, le projet d'une machine tender à quatre essieux accouplés (3). La caisse à eau entoure la partie supérieure de la chaudière, les roues ont 1,30 *m* de diamètre ; celles du troisième essieu, celui qui est moteur, n'ont pas de boudins ; l'écartement des essieux extrêmes est de 4,16 *m*. Les cylindres ont 0,52 × 0,66. Le poids n'est pas indiqué, mais, avec la latitude accordée par le programme, il eût pu atteindre 56 *t*, ce qui est bien en proportion avec les dimensions des cylindres et eût donné une machine aussi puissante que les locomotives actuelles du même type.

Ce projet, le seul émanant d'un Ingénieur français, a été rejeté comme inacceptable et, cependant, moins de quinze ans plus tard, le Semmering était déjà exploité par des machines du même type, c'est-à-dire à huit roues couplées provenant de la transformation par notre éminent collègue, M. Desgrange, des machines Engerth dont l'expérience avait fait reconnaître les inconvénients pratiques. Dans plus d'une occasion, Tourasse s'est montré un pionnier auquel on n'a pas accordé jusqu'ici la place qu'il méritait dans l'histoire du développement des chemins de fer (4).

Note B (page 560).

Il est facile de faire voir que les conditions de tracé du chemin de fer du Semmering sont loin d'être aussi dures que celles de certaines lignes secondaires.

(1) *Locomotive Engineering*, par Zerah Colburn, p. 82.

(2) Notice de M. J. Gaudry, dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, année 1857, page 621 et pl. CXIV et CXV.

(3) *Atlas zu die Lokomotiven der Staats Eisenbahn über der Semmering*, pl. XXVI.

(4) Un brevet du 30 septembre 1842, au nom de Tourasse et Hadery, contient des dispositions très curieuses, notamment des machines à adhérence totale et grande flexibilité avec bogies actionnés par un cylindre vertical, emploi de la tôle pour les bâtis au lieu du bois ou du fer forgé, appui de l'arrière de la machine sur le tender, graissage perfectionné des cylindres et tiroirs, etc.

En effet, ce chemin de fer a son point culminant à 883 *m* d'altitude au-dessus du niveau de la mer. La différence entre Payerbach et le faîte, pour ne prendre que la partie la plus difficile du tracé, est de 414 *m* sur un développement de 18 920 *m*; la déclivité moyenne est donc de 0,0219. La proportion des rampes de 25 0/00 sur cette distance est de 44 0/0 et la plus longue a 3 581 *m*.

Sur cette partie, il y a 12 259 *m* de courbes de rayons divers, dont 11 423 de 285 *m* et au-dessous, réparties comme suit : 23 de 190 *m*, 1 de 227, 1 de 269 et 33 de 285 *m*.

Il n'y a pas de courbes de moins de 285 *m* sur les inclinaisons de 25 0/00.

Nous avons donné, page 568, un aperçu des conditions du tracé du chemin de fer à voie de 1 *m* de Landquart à Davos qui a une déclivité moyenne de 25,4 0/00 sur 43 *km*; nous citerons encore quelques exemples de tracés accidentés.

Le chemin de fer à voie de 1 *m* d'Ajaccio à Corte, dans la partie entre Ajaccio et Vizzavona, atteint, près de cette dernière localité, son point culminant à l'altitude de 903 *m*; comme son point de départ est à 3 *m*, la différence de niveau franchi sur 50 800 *m* est de 900, soit une déclivité moyenne de 0,0177 *m*; mais si on ne considère que la partie la plus accidentée, comme on l'a fait pour le Semmering, on trouve qu'à partir de Caldaniccia, la déclivité moyenne est de 21 0/00, c'est-à-dire presque exactement la même qu'au Semmering, mais sur 42 *km* au lieu de 19. Entre Bocognano et Tavera, on a 28 0/00 sur 7 400 *m*. On rencontre sur cette partie une rampe continue de 30 millièmes de 5 108 *m* de longueur avec courbes descendant à 150 et 100 *m*.

On compte, sur 30 *km*, 43 courbes de 150 *m* et 25 de moindre rayon descendant à 100 *m*, d'un développement total de 8 750 *m*, soit environ 30 0/0 de la longueur.

Sur les lignes d'intérêt général, également à voie de 1 *m*, du Vivarais, le tracé atteint, entre la Voûte-sur-Loire et Issingeaux, l'altitude de 893 *m*. La partie entre Beaulieu et Bessamorel présente une déclivité moyenne de 24 0/00 sur 13,6 *km* de longueur; on y rencontre des rampes de 30 0/00 de 3 000 et 2 850 *m* de longueur continue. Il y a 7 900 *m* de longueur en rampes de 22 à 30 sans aucun palier intermédiaire, avec 26 courbes de 150 *m*, 26 de 120 *m* et 4 de 100 *m* de rayon sur les rampes de 30 (1).

On peut encore citer comme exemple de tracé très accidenté la ligne à voie de 1 *m* récemment ouverte (fin 1893), d'Yverdon à Sainte-Croix (Suisse), qui franchit entre ces deux points une différence de niveau de 634 *m* (Sainte-Croix est à l'altitude de 1 072 *m*) sur 24 800 *m* de développement; la déclivité moyenne est donc de 0,0256 par mètre. Entre Baulmes et Sainte-Croix, l'inclinaison moyenne atteint 0,0337 par mètre sur 13 *km*. Les plus longues rampes continues sont 33 0/00 sur 1 606 *m*,

(1) Voir dans la *Revue générale des Chemins de fer*, numéro de septembre 1891, l'article de M. Fettu sur les locomotives compound à quatre cylindres et châssis articulé, système Mallet, employées par la Compagnie de chemins de fer départementaux pour voie de 1 *m*.

40 sur 1100 *m*, 43 sur 900 *m*, 43,6 sur 1600 *m* et 45 sur 800 *m*. Le rayon des courbes descend à 100 *m* (1).

On peut résumer les conditions de tracé de ces différentes lignes comparativement à celles du Semmering par le tableau ci-dessous :

LIGNES	SEMMERING	LANDQUART-DAVOS	CORSE	LA VOUTE-YSSINGEAUX	YVERDON-SAINTE-CROIX
	m	*m*	*m*	*m*	*m*
Voie.	Normale	1	1	1	1
Longueur	18 900	43 500	42 000	13 600	24 800
Déclivité moyenne	21,9	25,4	21	24	25,6
Déclivité maxima.	25	45,2	30	30	43 à 45
Longueur de la plus longue rampe de déclivité maxima	3 580	» 2 364	5 100	3 000	4 000
Rayon minimum des courbes.	190	100	100	100	100

Ces lignes sont à la voie de 1 *m* et les courbes de 100, 120 et 150 *m* correspondraient à peu près sur la voie normale aux rayons de 150, 180 et 225 *m*, dont les deux premiers n'existent pas au Semmering et dont le dernier ne s'y rencontre pas en combinaison avec les rampes de 25.

A l'objection basée sur ce que les lignes dont nous parlons ne sont pas faites pour donner passage à un trafic considérable, nous répondrons qu'elles sont équipées pour y satisfaire. La nouvelle machine Corse (type VI du tableau B de la page 571) remorque 100 *t* sur rampe de 30 ; elle remorquerait donc 120 *t* sur rampe de 25, soit les 85 centièmes du train du programme de Semmering, avec une charge par essieu de 8 1/4 *t* au lieu de 14, et à une vitesse de 16 *km* au lieu de 11 1/2. Cette même machine est employée au chemin de fer d'Yverdon à Sainte-Croix où elle peut remorquer 65 *t* sur les rampes de 45 0/00.

Le type plus puissant de Landquart-Davos remorquerait 150 *t* sur rampe de 25 à 16 *km* à l'heure avec une charge par essieu de 10 *t*, n'exigeant qu'un rail de 23 1/2 *kg* par mètre courant. Cette machine satisfait donc parfaitement aux conditions du programme du Semmering et avec des dispositions plus simples et plus pratiques qu'aucune des machines du célèbre concours et une bien plus grande flexibilité, puisqu'elle peut passer sans difficulté dans des courbes de 70 *m*. sur la voie de 1 *m*, qui correspondraient à 100 ou 110 *m* sur la voie normale.

Note C (page 562).

Les projets présentés au concours du Semmering, tels qu'ils sont décrits dans le rapport d'Engerth, inséré dans les années 1853 et 1854 du

(1) La ligne d'Yverdon à Sainte-Croix, en dehors de l'intérêt que méritent son tracé et ses conditions de construction et d'exploitation, doit une certaine notoriété à la particularité qu'elle présente, de n'*avoir aucun service le dimanche*, en vertu d'une clause inscrite dans l'acte de concession à la requête du concessionnaire, M. William Barbey.

Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur-Vereins, rapport dans les planches duquel nous avons puisé pour ces notes, comprenaient (1) :

1° Divers projets de Maffei relatifs à la liaison de machines ensemble ou de machines avec les tenders, ou de trains convergents ensemble par des dispositifs de bielles, de balanciers et de chaînes sans fin ;

2° Un projet de machine à trois essieux couplés du même constructeur ;

3° Un projet de locomotive à quatre essieux, en deux groupes, reliés par un faux essieu, de Kirchweger (Voir *fig. 6, Pl. 106*) ;

4° Un projet de locomotive articulée à deux groupes de deux essieux chacun, et à quatre cylindres, avec accouplement par bielle centrale entre les deux groupes, envoyé par la Société John Cockerill, de Seraing ;

5° Un projet de locomotive-tender à quatre essieux parallèles, de Tourasse, dont il a été question note A ;

6° Un projet de machine articulée à deux groupes de trois essieux chacun, avec commande, par engrenages, d'un faux essieu actionné par deux cylindres, du même Ingénieur ;

7° Un projet de locomotive à rail central, de Krauss. Cette machine était portée sur trois essieux accouplés, commandés par des cylindres extérieurs horizontaux, et avait, en outre, une paire de cylindres intérieurs actionnant deux galets horizontaux serrant le rail central. La chaudière avait sa section transversale formée de deux portions de circonférence se coupant. Ce projet qui a précédé de près de dix ans la machine Fell et présente avec elle une assez grande analogie est très intéressant à étudier ;

8° Un projet de locomotive à trois essieux accouplés, commandés par deux cylindres extérieurs fortement inclinés, et un bogie à deux essieux à l'avant, de Kessler ;

9° Un projet de machine à quatre essieux parallèles en deux groupes commandés par un faux essieu placé entre les deux groupes et actionné par deux cylindres extérieurs fortement inclinés, du même constructeur. Ce projet offre, sauf la position des cylindres, intérieurs dans l'autre, une grande analogie avec un projet de Camille Polonceau, représenté par un modèle qui existe dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers. Dans ce dernier, une partie des essieux a un déplacement transversal réglé par des osselets. Le modèle dont nous parlons avait été exposé à Londres en 1862 par Mme veuve Polonceau, et on trouvera quelques renseignements à son sujet dans *les Chemins de fer en 1862 et en 1863*, par Eugène Flachat, pages 184 et 185.

Heusinger von Waldegg, dans son *Handbuch für Specielle Eisenbahn Technik*, vol. III, p. 956, rapporte qu'il avait envoyé au concours du Semmering un projet de locomotive double qui présentait des particularités nouvelles et qui n'a pas attiré l'attention du jury, probablement, dit-il, à cause de la trop grande nouveauté de dispositions s'écartant complètement des idées reçues alors.

Ce projet consistait en deux locomotives à quatre roues couplées chacune, attelées ensemble avec les boîtes à feu en regard. Le boulon d'at-

(1) Ce sont ces planches que nous avons citées à plusieurs reprises sous le nom de *Atlas zu die Lokomotive des Staats Eisenbahn über den Semmering*, parce qu'elles ont été publiées à part sous ce titre.

telage des deux machines servait de pivot à un petit bogie portant la plate-forme du personnel et les soutes à charbon placées latéralement. Il y avait deux chauffeurs, et le mécanicien était sur une estrade élevée d'où il pouvait voir au-dessus des chaudières, quel que fût le sens de la marche.

Les caisses à eau étaient sous la chaudière entre les longerons ; tout le poids servait ainsi à l'adhérence, à l'exception de celui du personnel et du combustible. On obtenait ainsi une machine très flexible sans l'emploi de tuyaux articulés.

Pour réaliser une très grande surface de chauffe, l'auteur avait disposé ses chaudières avec deux corps superposés, le corps inférieur contenait 255 tubes en laiton de 2,75 *m* de longueur, et le corps supérieur 70 tubes en fer formant retour de flamme et servant en partie de surchauffeur. La surface totale atteignait 233 m^2, valeur énorme pour l'époque et qui n'a été réalisée depuis que tout à fait exceptionnellement.

Il est à regretter que le dessin de ce projet curieux ne figure pas parmi ceux du rapport d'Engerth sur le concours du Semmering.

Note D (page 564).

Les systèmes rentrant dans la première catégorie que nous avons indiquée, c'est-à-dire ceux dans lesquels les essieux commandés par le nombre ordinaire de cylindres sont reliés par des dispositifs propres à permettre leur inscription dans la courbe par déplacement radial, méritent plus que la simple énonciation à laquelle nous avions dû nous borner.

Il a été proposé un très grand nombre de ces systèmes et quelques-uns dénotent une remarquable ingéniosité de la part de leurs auteurs. Si l'on excepte quelques brèves indications données par Couche sur ce point, on ne trouve nulle part ces dispositions réunies et classifiées. Nous avons donc cru utile de grouper ici, sous une forme méthodique, les principaux systèmes rentrant dans cette classe qui sont à notre connaissance et qu'on ne trouve guère que dans des périodiques, surtout étrangers, ou dans des ouvrages devenus aujourd'hui plus ou moins rares. Nous espérons épargner ainsi des recherches laborieuses aux personnes que la question pourrait intéresser, et peut-être à quelques-unes le déboire d'inventer des choses déjà connues.

Une solution employée depuis longtemps pour faciliter le passage d'une locomotive dans une courbe en conservant le caractère de la plus rigoureuse simplicité est le jeu transversal laissé à certains essieux. On règle souvent ce jeu par des dispositifs particuliers, tels que plans inclinés, ressorts de contrôle, balanciers conjuguant deux essieux voisins, etc. Cet arrangement nécessite l'emploi de portées sphériques pour les boutons des manivelles d'accouplement ou des dispositions équivalentes.

Dans les premières locomotives à six roues, on employait, pour arriver au même but, un procédé pour ainsi dire inverse, la suppression des boudins des roues du milieu; cette disposition est à peu près entiè-

rement abandonnée en Europe, mais elle est toujours d'un usage courant aux États-Unis, pour les machines ayant plus de trois essieux accouplés.

Nous n'avons d'ailleurs à considérer ici que les dispositions qui comportent la convergence des essieux et non leur déplacement parallèle.

La question que nous avons à examiner est un problème de cinématique consistant à transmettre un mouvement circulaire continu d'un arbre à un autre, qui peut faire avec le premier des angles variables et de valeur relativement assez faible.

Ce problème semble au premier abord être simplifié par l'adjonction d'une circonstance favorable, le fait que ces arbres sont des essieux portant des roues de même diamètre qui roulent sur un rail et que la présence de ce rail qui amène une rotation égale des roues et des essieux vient aider la transmission mécanique. L'expérience prouve qu'il est prudent de ne pas tenir compte de cette influence qui peut être paralysée par diverses causes, et qu'il ne faut compter que sur la transmission seule pour assurer l'accouplement complet des essieux.

Les divers systèmes de transmission proposés ou essayés pour relier des essieux non assujettis à rester exactement parallèles peuvent tout de suite se diviser en deux grandes classes.

1° Ceux qui comportent des organes à mouvement continu ou sans fin;

2° Ceux qui emploient des organes à mouvement alternatif.

La première catégorie comprend les transmissions par engrenages. les transmissions par chaines et courroies et celles par joint universel ou rotul .

A. Transmissions par engrenages. — L'emploi des transmissions par engrenages pour relier des essieux parallèles remonte aux premières locomotives (Trevithick, 1803, etc.) (1), mais l'application de ces organes pour relier des essieux pouvant converger paraît avoir eu lieu pour la première fois sur une locomotive construite en 1838 à Neath Abbey, pour les forges de Rhymney dans le Pays de Galles (2). Cette machine était portée sur deux bogies à deux essieux chacun. Les cylindres inclinés donnaient le mouvement à un essieu libre placé entre les deux bogies et portant au milieu une roue dentée engrenant avec une roue analogue calée sur chacun des essieux en regard. Par cette disposition, les deux trucks pouvaient prendre un certain angle par rapport à l'axe longitudinal de la locomotive, sans que l'engrènement cessât d'avoir lieu. On peut signaler le fait du chargement des deux essieux de chaque bogie par un ressort unique renversé de chaque côté, disposition très fréquemment employée depuis.

Baldwin a construit en 1841 (3), une locomotive dans laquelle une

(1) La locomotive des houillères de Wylam, de Hedley, avait une disposition assez semblable à celle des forges de Rhymney; mais, bien qu'il y eût deux châssis à quatre roues, ceux-ci n'avaient pas de cheville ouvrière, et par conséquent, n'étaient pas susceptibles de prendre un déplacement angulaire.

(2) *Engineering*, 15 novembre 1867, p. 456, et *Origine de la locomotive*, par Deghilage. Pl. V, fig. 6.

(3) Notice accompagnant le catalogue illustré des locomotives construites par les ateliers Baldwin, p. 19, édition de 1881.

transmission par engrenages était employée pour donner le mouvement aux roues d'un bogie pivotant. Il y avait trois essieux, l'un à l'arrière, fixe, et les deux autres à l'avant sous le bogie; les cylindres actionnaient un faux essieu, lequel commandait les roues d'arrière par des bielles d'accouplement extérieures, et les roues d'avant par des engrenages placés dans l'axe longitudinal de la machine. Les roues n'avaient pas le même diamètre, celles d'arrière avaient 1,10 *m* de diamètre et celles du bogie 0,80 *m*. La machine pesait 13 1/2 *t* en service, elle fut employée sur un chemin de fer de houillère, et le type ne fut pas reproduit, bien que les résultats aient été favorables, dit-on.

Un projet comportant une disposition très analogue à celle de la machine de Rhymney, mais avec six essieux, a été présenté au concours du Semmering par l'Ingénieur français Tourasse (1).

Il y a quelques années, la fabrique de locomotives de Winterthur a construit pour un chemin de fer industriel à fortes rampes et courbes de faible rayon, dans le midi de la France, une machine articulée à quatre essieux et deux bogies avec transmission par engrenages analogue à celle dont nous avons dû parler, avec cette différence que les cylindres qui actionnaient le faux essieu étaient verticaux. La machine était à l'écartement de 0,900 *m* et pesait 22 *t* en service; les roues avaient 0,900 *m* de diamètre, la surface de chauffe était de 39 m^2 (2).

On sait que la transmission par engrenages était au debut une des particularités du système Engerth. La non-réussite de ce mode de transmission a réduit cette machine à la condition d'un moteur articulé à adhérence partielle, forme sous laquelle elle a d'ailleurs été très employée dans divers pays, sans que rien justifiât beaucoup ces applications, dont il ne reste plus guère que le souvenir.

En Amérique, on se sert pour des locomotives destinées surtout à rouler sur des voies de mines ou de carrières, d'une transmission par engrenage conique d'une disposition originale. C'est le système Shay, construit par les ateliers de Lima (Ohio). Un moteur placé verticalement sur le côté de la chaudière actionne un arbre longitudinal en plusieurs morceaux réunis par des joints universels, lequel arbre porte au droit de chaque essieu de la locomotive et du tender une roue d'angle engrenant avec une roue semblable calée sur l'essieu correspondant. Les essieux étant deux à deux fixés à des trucks, la machine réalise la double condition de l'adhérence totale et de la flexibilité, mais par l'emploi de mécanismes dont l'usage serait accueilli avec réserve partout ailleurs qu'aux Etats-Unis. On dit que ce système y est assez employé (3).

Dans le système Heisler, qui présente une grande analogie avec celui de Shay, l'arbre de commande est dans l'axe longitudinal, il est actionné par deux cylindres placés en travers et d'un seul côté à 45° de la verticale. Il y a trois trucks à deux essieux chacun, l'un sur l'avant de la machine, le second sous le foyer, le troisième, sous le tender.

(1) *Atlas zu die Lokomotive des Staats Eisenbahn über den Semmering*, Pl. XXVII.

(2) *Organ für die fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1885, p. 4, Pl. I.

(3) On trouvera une image de ces machines dans les pages d'annonces des grands journaux techniques américains, *Railroad Gazette*, *Engineering News*, etc.

Cette dernière disposition ressemble, d'ailleurs, singulièrement à un système proposé par W. H. James, de Birmingham, antérieurement à 1830, pour relier les essieux, non seulement de la locomotive et du tender, mais encore des wagons. L'inventeur avait pour objet de réaliser, sans l'emploi de la crémaillère de Blenkinsop, une adhérence suffisante pour remonter des rampes qu'une expérience sur une petite échelle lui a, dit-il, démontré pouvoir atteindre trois pouces par yard, soit 1/12. Une autre particularité intéressante de ce système était l'emploi de roues ayant des jantes de différents diamètres servant pour les divers rayons de courbure de la voie (1).

Un dispositif tout à fait semblable à celui de James a été proposé en 1857 par M. Cernuschi pour des lignes de montagnes (2).

B. Transmissions par chaînes et courroies. — L'usage des chaînes pour relier des essieux parallèles remonte également à l'origine de la locomotive. Celle de Dodd et Stephenson (1815) avait une transmission de ce genre, mais l'emploi pour relier des essieux pouvant légèrement converger l'un par rapport à l'autre paraît remonter à Maffei qui a appliqué des chaînes de Galle sur la *Bavaria* du concours du Semmering. D'autres Ingénieurs ont proposé ensuite cette transmission, entre autres Livesey puis Thouvenot avec un perfectionnement consistant à faire porter la chaîne sur des roues dentées non calées directement sur les essieux, comme dans la machine de Maffei, mais fixées à eux par une rotule de façon que les roues et la chaîne restassent constamment dans le même plan malgré l'inclinaison des essieux l'un par rapport à l'autre. Thouvenot proposait de relier par des organes de ce genre les divers essieux d'un train destiné à franchir des rampes de 50 0/00 (3).

La fabrique de locomotives de Winterthur, déjà citée plus haut à propos d'une transmission par engrenages, a construit, il y a sept ou huit ans, pour Barcelone une machine à trois essieux avec transmission du genre de celle qui vient d'être indiquée. L'essieu du milieu est fixe et ceux des extrémités convergent; ils sont reliés ensemble par des chaînes de Galle engrenant avec des couronnes dentées assemblées par rotule avec eux. Les cylindres placés à l'avant et verticalement actionnent un faux essieu accouplé avec les autres par une chaîne de Galle. La machine est à l'écartement normal, elle pèse 16 1/2 *t* en service et peut passer dans des courbes de 11 *m* de rayon. Ce modèle n'a pas été reproduit (4).

On emploie aux États-Unis, dans les exploitations forestières pour rouler sur des voies formées de rondins mis bout à bout, des locomotives portées sur deux bogies dont les essieux sont actionnés au moyen de chaînes de Galle par un faux essieu commandé par une paire de cy-

(1) *History and progress of the Steam Engine*, par Elijah Galloway, Londres, 1831, pages 587 et suivantes.

(2) *Description d'une locomotive à poids utile pour le passage des Alpes et des Pyrénées avec des rampes de 5 0/0*, par C. Cernuschi, Ingénieur au chemin de fer de Séville à Cordoue.

(3) *Un moyen de franchir les Alpes*, par Thouvenot, 1861, Pl. I et III.

(4) *Organ fur die Fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1886, page 3, Pl. I.

lindres. Les roues sont à large gorge comme des poulies à cordes. On sait que les chaînes de Galle sont aussi employées dans les locomotives routières, les rouleaux compresseurs, etc., les locomotives électriques.

Les courroies ne paraissent pas avoir été jamais essayées, elles sont d'ailleurs bien inférieures aux chaînes pour des applications de ce genre.

C. Transmission concentrique par rotule. — Nous désignons sous ce nom une disposition qui consiste à caler les roues sur un arbre creux dans l'intérieur duquel est un arbre moteur porté par la partie fixe de la locomotive et recevant le mouvement des cylindres, tandis que l'essieu creux porte-roues, relié au précédent par une rotule ou joint universel, peut se placer dans la position du rayon de la courbe. Cette disposition ingénieuse paraît avoir été réalisée pour la première fois vers 1880 par un M. Percival Heywood sur une petite locomotive à six roues couplées pesant 2 1/2 *t* en service et circulant sur un chemin de fer expérimental à voie de 15 pouces (0,38 *m*) établi à Duffield Bank (1), en Angleterre. La figure 7, planche 105, représente la disposition employée. On voit que l'axe qui reçoit l'action des cylindres est à l'intérieur d'un essieu porte-roues qui peut glisser transversalement sur lui dans les courbes; cet arbre est accouplé à la manière ordinaire par des bielles extérieures avec deux autres auxquels les essieux porte-roues sont fixés par des rotules. Les trois essieux porte-roues sont d'ailleurs reliés ensemble de manière à rendre solidaires les mouvements de convergence des extrêmes et celui de déplacement transversal de l'essieu central. On obtenait ainsi avec des moyens relativement simples une très grande flexibilité qui permettait à la machine de circuler dans des courbes de moins de 5 *m* de rayon. Cette disposition serait probablement plus difficilement applicable sur des machines un peu puissantes.

Le même principe a été appliqué plus récemment aux États-Unis avec des dispositions différentes et beaucoup moins heureuses. La figure 8 représente la moitié d'une machine projetée par M. E.-P. Cowles et réalisée avec quelques modifications pour un chemin de fer desservant des carrières dans le Kentucky (2).

La machine est portée sur deux bogies à trois essieux; l'essieu porte-roues central est seul creux et contient un arbre fixe *a* commandé par les cylindres; les autres essieux sont accouplés par des bielles extérieures portant au milieu une coulisse où glisse le bouton de la manivelle de l'arbre moteur *a*. Cet arbre se trouve porté par des paliers extérieurs et par la rotule centrale qui le relie à l'essieu creux; cet arrangement doit présenter peu de solidité.

L'inventeur a eu la singulière idée, pour simplifier la disposition générale de sa machine, de faire agir les mêmes pistons sur les deux trucks dont la figure 8 ne montre qu'un. A cet effet, les tiges de ces pistons sortent par les deux extrémités et se relient de chaque côté à des bielles; il résulte de l'obliquité de ces bielles au milieu de la course, que ces milieux ne correspondent pas et qu'il doit se produire dans

(1) *Engineer*, 15 juillet 1881, page 48.
(2) *Engineering News*, 9 février 1893, pages 129 et 130.

chaque tour des glissements périodiques des roues sur les rails. On pourrait éviter cet inconvénient en conservant deux cylindres, mais en ayant deux pistons dans chacun, un pour l'avant, l'autre pour l'arrière. Quoi qu'il en soit, cette disposition ne parait guère à recommander.

Enfin, tout récemment, deux Ingénieurs saxons, MM. Klien et Lindner, ce dernier connu par un appareil de démarrage pour locomotives compound, ont proposé une disposition reposant sur le même principe, mais n'affectant que l'essieu d'avant (1) *(fig. 9)*. Il y a une interposition de ressorts circulaires entre l'essieu creux porte-roues et l'essieu fixe; de plus, le déplacement radial de l'essieu porte-roues est contrôlé par l'effet d'un ressort en volute rattaché aux bâtis. Le dessin que nous reproduisons est un dessin de brevet, nous ignorons s'il a été fait une application de cette disposition.

2° La seconde catégorie de solutions comprend, avons-nous dit plus haut, celles dans lesquelles la liaison des essieux convergents implique l'emploi d'organes à mouvement alternatif tels que bielles, balanciers, etc. Nous ferons observer, dès à présent, que la classification que nous adoptons ne saurait avoir la prétention d'être bien rigoureuse; elle est, en effet, assez difficile à établir, parce que certaines dispositions, par les organes qui la constituent, peuvent appartenir à la fois à plusieurs catégories différentes. C'est ce qui s'est déjà présenté pour le système de Cowles donné plus haut qui emprunte à la fois l'essieu creux porte-roues et les bielles d'accouplement à coulisses dont il sera parlé plus loin.

Sous le bénéfice de cette observation, nous classerons comme suit les mécanismes de cette catégorie :

D. Accouplement des essieux convergents par des bielles placées dans l'axe longitudinal de la machine, ces bielles pouvant être simples, doubles, rectilignes ou triangulaires.

E. Accouplement par leviers oscillants ou balanciers.

F. Emploi d'un essieu libre relié par des bielles aux essieux convergents.

G. Accouplement des essieux par des bielles extérieures dont la longueur varie avec la convergence des essieux.

D. L'emploi d'une bielle d'accouplement placée dans l'axe longitudinal de la locomotive et agissant sur le coude central de deux essieux voisins, coude dont le bouton a une portée sphérique, est une idée très simple. Elle a d'abord été proposée par les ateliers de Seraing dans un projet pour le Semmering; il s'agissait de relier deux groupes moteurs ayant chacun leurs cylindres, de sorte que cet arrangement ne rentre pas tout à fait dans la catégorie de systèmes dont nous nous occupons. Nous l'avons représenté néanmoins figure 10 (2).

Cet arrangement a été également proposé et essayé par notre collègue M. Edmond Roy, pour relier deux groupes d'essieux pouvant obliquer l'un par rapport à l'autre (3). Comme la transmission du mouvement

(1) *American Engineer and Railroad Journal*, mars 1894, page 144.

(2) *Atlas zu die Lokomotive des Staats Eisenbahn über den Semmering*, Pl. XXIII.

(3) *Société des Ingénieurs civils de France*, 1857, p. 123, Pl. LXVIII. 1861, p. 80 et février 1894, p. 136. — Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. II, p. 532.

n'est pas assurée lorsque les coudes sont horizontaux, c'est-à-dire aux points morts, on a cherché à éviter cet inconvénient grave par diverses dispositions. Maffei, dans des projets pour le Semmering *(fig. 12)* (1), a proposé d'accoler deux bielles agissant sur des coudes à angle droit pratiqués sur les essieux. Il est facile de voir que les bielles n'étant plus, malgré leur grand rapprochement, dans l'axe longitudinal de la machine, la solution n'est pas rigoureuse; il faudrait laisser des jeux considérables qui amèneraient une dislocation rapide de la transmission.

La figure représente l'accouplement par ce moyen des mécanismes de deux locomotives à six roues couplées accolées dos à dos. Il est singulier que les auteurs n'aient pas pensé à profiter de cet arrangement pour mettre à l'opposé les manivelles et bielles des deux machines, les unes par rapport aux autres, pour réaliser un équilibre plus satisfaisant.

Thouvenot a repris cette idée pour l'accouplement des essieux d'un train *(fig. 11)* (2) en déviant les bielles de manière à les ramener dans l'axe de la machine. Il est facile de voir que cette disposition ne présenterait aucune solidité.

Notre collègue, M. Weidknecht, a cherché à simplifier la disposition Thouvenot, en supprimant la partie située entre les deux coudes de l'essieu, de sorte qu'il y aurait en réalité deux demi-essieux; la position relative de ces deux demi-essieux est maintenue angulairement par l'accouplement des essieux porte-roues, les demi-essieux étant des axes libres accouplés avec les autres. L'inventeur avait basé sur ce principe divers projets de locomotives articulées, présentés par lui vers 1878.

M. C. Aliger, ancien élève des Écoles d'Arts et Métiers, attaché successivement aux bureaux d'études des locomotives de la maison Cail et de la Compagnie de Fives-Lille (3), dans un projet bien étudié *(fig. 14, Pl. 106)*, a cherché, en conservant la bielle centrale, à aider son action aux points morts par des bielles extérieures agissant sur des manivelles convenablement calées; cette disposition implique l'emploi d'un faux essieux, de sorte qu'elle rentrerait également dans la troisième classe de la catégorie dont nous nous occupons.

Un constructeur anglais, de Bergues, a proposé de relier les essieux d'une locomotive et de son tender au moyen de balanciers verticaux oscillants qui commanderaient les bielles et manivelles des essieux, les balanciers de la machine étant reliés à ceux du tender par des bielles horizontales placées à la partie inférieure; il y aurait deux systèmes parallèles très rapprochés de l'axe longitudinal et agissant sur des manivelles à angle droit (4).

Un autre moyen consiste dans l'emploi d'une bielle triangulaire dont deux sommets actionnent les coudes des essieux à conjuguer et le troisième le coude d'un essieu libre. Nous examinerons cette disposition avec celles qui sont basées sur l'emploi d'un essieu libre.

(1) *Atlas zu die Lokomotive des Staatseisenbahn über den Semmering*, Pl. XVIII.
(2) *Un moyen de franchir les Alpes*, Pl. IV.
(3) *Revue industrielle*, 30 juin 1875, p. 233.
(4) *Engineering*, 16 juillet 1869, p. 48.

E. L'emploi de leviers oscillants, pour accoupler des essieux convergents, parait remonter à Lucien Rarchaert, qui le proposa vers 1855 et poursuivit avec une persévérance remarquable l'étude du problème de la machine articulée. Les figures 13 et 14 représentent la disposition adoptée par cet inventeur pour accoupler deux essieux convergents avec un essieu central, ou deux groupes d'essieux, l'un fixe et l'autre convergent. Si le principe est simple, la réalisation n'est pas sans présenter de grandes difficultés dans l'agencement des détails. Dans la disposition de la figure 14, pour éviter des réactions nuisibles à la stabilité de la machine, l'inventeur a rendu les deux côtés de la transmission absolument symétriques. Il y a deux leviers oscillants dont chacun agit sur un bouton de manivelle et ces deux boutons se trouvent calés à angle droit l'un de l'autre, avec interposition d'une contre-manivelle. L'axe commun des balanciers a au milieu une portée sphérique sur la cheville d'accouplement des deux châssis, et de plus il est maintenu par deux barres reposant par des glissières sur les essieux voisins, de manière que sa position soit toujours dans le plan horizontal, passant par ces deux essieux, tandis qu'il reste à égale distance d'eux. Ce système a été l'objet de divers rapports officiels plus ou moins favorables (1), mais il n'a pas reçu d'application. Il est représenté par un modèle qui figure dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers.

M. Gouin, Ingénieur des Ponts et Chaussées, d'une part, et notre ancien collègue M. Larpent, de l'autre, ont proposé des dispositifs reposant sur le même principe et ne différant de celui de Rarchaert que par des détails ayant pour but surtout de le simplifier. Dans le système Larpent *(fig. 15)* (2), le balancier est maintenu à égale distance des essieux par des bielles agissant sur un balancier de contrôle, et l'axe des balanciers est maintenu à la hauteur voulue par des tiges de suspension fixées au bâti.

Un constructeur allemand, M. Hagans, à Erfurt, a imaginé une disposition qui dérive de la dernière, avec emploi d'un balancier moteur, et l'a appliqué à de petites locomotives à 4 essieux en deux groupes *(fig. 3, Pl. 106)* (3). Le balancier *a* qui est actionné, à son extrémité supérieure, par le cylindre à vapeur et porte à l'autre la bielle motrice, à son point d'oscillation mobile dans une coulisse et déplaçable, sous l'action d'un levier *b* fixé à sa partie supérieure et relié au bas à l'essieu convergent. On conçoit que l'axe se déplace ainsi de la moitié du déplacement de l'essieu, ce qui permet la commande sans modification de la course du piston, malgré la convergence de l'essieu.

Le mécanisme de commande de la machine Johnstone dont il a été question, page 576 (4), repose encore sur le même principe, bien que l'organe principal soit plutôt une traverse qu'un balancier.

(1) Rapport de MM. Avril, Mary, Busche et Couche, sur le système de locomotive articulée de M. Rarchaert. *Annales des Mines*, 1863.

(2) *Société des Ingénieurs Civils*, 1860, pages 291, 336 et 350 et Pl. XIV.

(3) D. R. P. n° 58845. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 1891, 7 novembre, p. 1276.

(4) *Société des Ingénieurs Civils de France*, mars 1893, p. 453. — *Engineering News*, 26 mars 1892, p. 302.

La machine *(fig. 1, Pl. 106)* est représentée par moitié, il y a deux parties entièrement symétriques. La tige du piston, ou plutôt les tiges, car il y en a trois, correspondant à deux cylindres concentriques, s'intercale au milieu d'une traverse *a*, verticale dans sa position normale; la bielle motrice est attachée à l'extrémité inférieure et l'extrémité supérieure se relie, par une courte bielle, au haut d'un balancier *b*, oscillant en son milieu et commandé en bas par une bielle articulée sur un bouton de manivelle calé à 180° du bouton moteur, sur une contre-manivelle. On voit que la traverse *a*, à laquelle sont attachées les tiges de pistons, se meut toujours parallèlement à elle-même, verticalement dans les parties en alignement droit et légèrement inclinée dans les courbes. On a dans cette machine remplacé les portées sphériques des boutons de manivelles, qu'on est obligé d'employer dans les systèmes de ce genre, par un dispositif équivalent *(fig. 2)* qui consiste à mettre une double articulation aux têtes de bielles. Trois machines Johnstone ont été construites, aux États-Unis, pour le chemin de fer Central Mexicain. Elles pèsent 113 *t* avec approvisionnements complets, dont 95 de poids adhérent. Nous renvoyons à ce que nous en avons dit page 576 ci-dessus.

Nous devons faire remarquer que la locomotive Johnstone se trouve appartenir à la fois à la catégorie des machines Duplex, c'est-à-dire formées de deux machines à deux cylindres chacune et à celle des machines articulées à mécanisme de transmission. Elle pourrait même former une catégorie à part puisque les cylindres sont sur la partie fixe.

Dans un des projets envoyés par la maison Maffei pour le concours du Semmering, figure un dispositif avec balancier horizontal (1) commandant les essieux convergents par des bielles verticales. Il y a un balancier de chaque côté. Le jeu des ressorts exige évidemment que l'axe des balanciers soit maintenu à une hauteur constante au-dessus des axes des essieux. Cette nécessité entrainerait à des dispositions de détail compliquées. Nous ne mentionnerons cet arrangement que pour mémoire.

La disposition de de Bergues, dont nous avons dit un mot plus haut, peut aussi entrer dans cette catégorie.

F. L'emploi d'un essieu libre relié par des bielles avec les essieux convergents a donné lieu à un grand nombre de dispositifs dont les plus anciens paraissent avoir vu le jour à l'occasion du concours du Semmering.

Plusieurs sont de Maffei. Dans l'un impliquant également l'emploi d'une bielle triangulaire centrale (2) *(fig. 4)*, le faux essieu est rattaché aux autres par des bielles inclinées; dans une autre disposition *(fig. 5)* une des bielles est verticale. Il s'agissait de l'accouplement d'une locomotive avec son tender; c'est presque exactement l'arrangement employé plus tard sur la machine *Steierdorf* dont nous parlons plus bas. Un projet envoyé au même concours par l'Ingénieur Hanovrien Kirchweger *(fig. 6)* (3) représente une machine à deux trucks à deux essieux chacun

(1) *Atlas zu die Lokomotive des Staats Eisenbahn über den Semmering* (Pl. XVIII, fig. 3).

(2) Même ouvrage, même planche (fig. 2, 4 et 5).

(3) Même ouvrage (Pl. XXIII).

dont l'accouplement se fait par une disposition du même genre; on voit qu'il y a une liaison entre les boites des essieux des roues et celles de l'axe libre.

Une disposition analogue et très connue est celle que Pius Fink étudia pour remplacer les engrenages de la machine Engerth après l'insuccès de ceux-ci et pour lui restituer la propriété d'adhérence totale qu'avait voulu lui donner son auteur (1) *(fig. 7)*. Il a été construit trois machines de ce type dont l'une, la *Steierdorf*, lui a donné son nom, pour les lignes du Banat de la Société autrichienne des chemins de fer de l'État. La machine *Steierdorf* figura aux Expositions universelles de 1862 à Londres et de 1867 à Paris et on la présenta comme la solution du problème de la locomotive flexible à adhérence totale. Il n'en reste plus depuis longtemps que le souvenir. La disposition était compliquée et les pièces de la transmission, quelque fortes qu'on les fit, ne résistaient pas en service.

Le faux essieu a été combiné avec l'emploi d'une bielle triangulaire placée dans l'axe longitudinal de la machine par Maffei, comme on l'a déjà indiqué, pour actionner les essieux d'un bogie; puis, par Dredge et Stein (2) *(fig. 8)* pour accoupler une locomotive à six roues avec un tender également à 6 roues.

Rarchaert, après avoir abandonné le système à leviers oscillants dont il a été question plus haut, a étudié et réalisé une disposition basée sur le même principe et représentée figure 9. Il s'agit d'une machine à quatre essieux répartis sur deux trucks pivotants. Les deux cylindres actionnent un axe libre accouplé par une bielle centrale triangulaire avec les essieux porte-roues en regard. Les boutons des coudes des essieux ont des portées sphériques. Il a été construit une locomotive d'après ce plan, elle a circulé sur les chemins de fer de Fougères à Vitré (3) et d'Orléans à Châlons qui n'étaient malheureusement pas dans les conditions qu'on eût pu désirer pour l'essai d'une machine flexible. On avait donc les inconvénients de la complication inévitable, sans recueillir les avantages de la disposition spéciale au point de vue des courbes de faible rayon. Cet essai n'a pas eu de suites, surtout à cause, peut-être, de la mort de l'inventeur, mais on peut dire que c'est probablement ce qu'on a trouvé jusqu'ici de plus pratique pour l'accouplement par des organes mécaniques d'un grand nombre d'essieux non assujettis à rester parallèles entre eux.

Une étude très complète de ce système a été donnée en 1876 dans les *Annales des Mines* par M. Massieu, Ingénieur des mines.

Comme nous l'avons dit plus haut, M. Weidknecht avait étudié, il y a une quinzaine d'années, diverses dispositions de locomotives articulées. Dans tous ces projets, il y avait deux bogies à deux essieux porte-roues, ayant entre eux un faux essieu en deux pièces auquel un troisième faux essieu placé plus haut, et recevant l'action des deux cylindres à vapeur

(1) *Description de la locomotive envoyée par la Société I. R. P. des chemins de fer de l'État à l'Exposition de Paris en 1867.* — Couche, *Voie, Matériel roulant et exploitation technique*, t. II (Pl. LXXV, fig. 1 à 11). — *Société des Ingénieurs Civils*, 1867, p. 63.

(2) *Engineering*, 15 novembre 1867, p. 456. — Couche, *Voie, Matériel roulant, etc.*, t. II (Pl. LXXXVI, fig. 16 et 17).

(3) *Annales des Mines*. — T. IV, 1874. T. X, 1876.

était accouplé par des bielles doubles inclinées et placées très rapprochées de part et d'autre de l'axe longitudinal de la machine. Cette disposition entraînait l'emploi d'un grand nombre de pièces et la nécessité de fixer convenablement les demi-essieux donnait lieu à des objections au point de vue pratique. Nous ne croyons pas que cette disposition, dont nous n'avons eu connaissance que par un prospectus de l'inventeur, ait jamais reçu d'application.

L'emploi du faux essieu peut être combiné avec celui de bielles d'accouplement extérieures dans lesquelles on ménage des rainures où glissent les boutons d'accouplement des roues convergentes. Ces bielles peuvent être inclinées ou droites.

Le système Köchy *(fig. 10)* (1) donne un exemple de cette disposition.

On en trouve un autre avec l'emploi d'essieux libres placés dans le plan horizontal des essieux porte-roues dans une disposition proposée par M. Gouin, Ingénieur des Ponts et Chaussées et auteur d'un système d'accouplement par leviers oscillants dont il a été parlé plus haut. Cette disposition *(fig. 12)* est représentée par un modèle déposé dans les galeries du Conservatoire des Arts et Métiers où il est indiqué comme entré en 1865. C'est celui d'une machine-tender à cinq essieux dont les deux extrêmes à l'arrière forment truck pivotant; ces deux essieux sont accouplés par des bielles et portent au milieu une coulisse dans laquelle joue le bouton d'une manivelle terminant un faux essieu accouplé lui-même avec le troisième essieu de la machine.

Dans les mêmes galeries figure à côté un autre modèle représentant une machine basée sur le même principe et étudiée par le même ingénieur en collaboration avec notre collègue, M. Boutmy (2). C'est une locomotive *(fig. 13)* à six essieux dont deux fixes au centre et les autres en deux trucks pivotant placés aux extrémités. Chaque truck est actionné par le dispositif de la machine précédente.

Une disposition qui se rapproche beaucoup de celle que nous venons de décrire a fait l'objet d'un brevet récent (D. R. P. n° 71722) (3) de M. Krauss, le constructeur bien connu de Munich. Elle a pour objet *(fig. 11)* d'actionner un truck pivotant par des cylindres fixés au bâti général de la machine de manière à éviter l'emploi d'un tuyautage articulé. On voit que les boutons de manivelle de l'arbre moteur portent des coulisseaux qui glissent dans des coulisses pratiquées dans les bielles d'accouplement.

Le système Cowles, décrit dans la première division *(fig. 8, Pl. 105)* peut

(1) D. R. P. n° 69642. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 26 août 1893, p. 1054.

(2) M. Boutmy avait étudié en 1862, alors qu'il était Ingénieur des ateliers du chemin de fer de Lyon à la Méditerranée, à Arles, une disposition de machine Engerth avec des cylindres à l'avant et à l'arrière constituant une locomotive articulée à six essieux et quatre cylindres. Cette locomotive n'étant pas destinée à passer dans des courbes de très petit rayon, les tuyaux de vapeur et d'échappement des cylindres arrière n'avaient pas d'articulation et devaient se prêter au déplacement par leur flexibilité propre.

Les dessins au cinquième de grandeur naturelle de cette machine figuraient à l'Exposition universelle de 1867 et les archives de la Société des Ingénieurs Civils de France en possèdent des calques. On trouvera une description avec dessin de cette machine dans les *Etudes sur l'Exposition de 1867*, publiées par Eugène Lacroix, vol. I, p. 52. Locomotives, par J. Gaudry.

(3) *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, 6 janvier 1894, p. 28.

être aussi considéré comme rentrant dans la catégorie dont nous nous occupons.

On ne peut se dissimuler que ces bielles à coulisses, où l'action ne s'exerce que dans le sens vertical, ne travaillent pas dans des conditions bien favorables et doivent donner lieu à des frottements énormes, d'autant plus qu'elles agissent sur une manivelle qui, en courbe, se meut dans un plan oblique par rapport à celui dans lequel agit la bielle; il faut donc que le bouton de manivelle se déplace périodiquement sur cette bielle dans le sens transversal. Il y a dans cet arrangement, ingénieux d'ailleurs, des mouvements dans tous les sens qui se traduisent par des frottements et des usures. On peut aussi faire, à certains de ces systèmes, l'objection que les bielles d'accouplement sont toutes dans le même sens et ne peuvent être placées de manière à s'équilibrer mutuellement, au grand avantage de la stabilité de la machine.

Le projet Aliger, que nous avons mentionné plus haut à propos des bielles d'accouplement dans l'axe de la machine, peut également être rattaché à la présente catégorie.

G. La dernière classe que nous ayons à examiner comprend les dispositions dans lesquelles les bielles d'accouplement peuvent varier de longueur pour se prêter au rapprochement ou à l'écartement des roues qui portent les boutons de manivelle dans la convergence des essieux.

L'emploi des bielles à coulisses mentionné ci-dessus peut déjà être considéré comme une solution de ce genre. En dehors, nous n'en connaissons que deux; le système Klose dont il a été longuement question dans le mémoire *(p. 574* et *fig. 6, Pl. 105)* et le système Vogel *(fig. 15, Pl. 106)*, qui ne paraît pas avoir reçu d'application, bien qu'il remonte déjà à une vingtaine d'années. Il repose encore en partie sur l'emploi d'une coulisse pratiquée dans la bielle et il est facile de voir qu'il ne doit pas présenter une bien grande solidité.

Nous devons dire toutefois que le dessin figure 15 ne donne guère que le principe de la disposition. En réalité, pour être applicable en pratique, elle est beaucoup plus compliquée. Cet arrangement était proposé pour accoupler ensemble deux trains : l'un de trois essieux fixes placés sous la chaudière et l'autre de deux essieux formant truck articulé placé sous le tender d'une locomotive à cinq essieux d'une disposition générale analogue à la locomotive *Steierdorf*. L'auteur, R. Vogel, est indiqué comme *maschinenmeister* à Ibbenbüren (1).

On pourrait encore citer, simplement à titre de curiosité, deux dispositions; la première, brevetée en 1843 par le constructeur américain Norris (2), consistait en une bielle d'accouplement en deux parties glissant, l'une par rapport à l'autre, suivant une ligne oblique représentant une portion d'un cercle décrit du centre de l'essieu pivotant. Cet arrangement ne paraît pas réalisable en pratique. La seconde, décrite dans l'*Engineer* du 26 septembre 1884, p. 246, repose sur l'emploi d'un double coin horizontal enfilé sur le bouton de manivelle de l'essieu du milieu,

(1) *Organ für die fortschritte des Eisenbahnwesens*, 1878, p. 59, Pl. V.
(2) Brevet français 17112, 28 août 1843.

lequel coin, portant sur les bielles d'accouplement avec les deux autres essieux, allonge ou raccourcit ces bielles lorsque l'essieu du milieu se déplace transversalement dans une courbe. Cette disposition, donnée comme due à un ingénieur brésilien, G. Fretel, paraît compliquée et difficilement réalisable avec quelque solidité.

Enfin une disposition de bielles d'accouplement analogue à celle de Klose a été proposée tout récemment (D. R. P. 73183) par E. Neuhaus, de Chemnitz, pour relier deux bogies à deux essieux disposés sous une chaudière unique, le bogie d'avant portant les cylindres. On trouvera un croquis de cette disposition dans le numéro du 26 mai 1894, page 654 du *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*.

Nous terminons ici cette revue déjà un peu longue et dans laquelle nous avons dû nous borner à citer les principaux systèmes de chaque classe, sans quoi cette note eût dépassé les limites raisonnables. Nous croyons que la conclusion à tirer de cet examen est encore aujourd'hui celle qu'émettaient, dès 1861, nos regrettés collègues J. J. et Ad. Meyer, à l'appui de leur très remarquable système de locomotive articulée (1).

« Dans les systèmes proposés pour accoupler solidairement, de quelque manière que ce soit, de nombreux essieux sur deux trains divergents, l'addition des mécanismes d'accouplement apporte à la machine une complication aussi grande que l'addition de deux cylindres à vapeur et l'entretien de ces mécanismes et des bandages de roues, assujettis à conserver rigoureusement le même diamètre, sera plus dispendieux que celui de deux cylindres et de leur mouvement, sans compter la perte d'effet utile. »

Depuis trente-trois ans que ces lignes sont écrites, il ne s'est rien produit, croyons-nous, qui soit de nature à modifier sensiblement cette manière de voir.

Note E (page 564).

Les systèmes appartenant à la seconde classe de machines et caractérisés par la présence de deux groupes d'essieux ayant chacun une paire de cylindres et non assujettis à rester parallèles sont trop connus, au moins ceux qui ont reçu des applications pour qu'il soit nécessaire de leur consacrer ici une étude, même très sommaire. Les systèmes Fairlie et Meyer ont été l'objet de nombreuses publications. Le premier a été largement appliqué, mais l'est infiniment moins depuis la mort de l'inventeur; toutefois, en France, le service de l'artillerie l'emploie pour les chemins de fer stratégiques à voie de 0,60 *m*. Le système Meyer n'a reçu du vivant de ses auteurs qu'une demi-douzaine d'applications, dont on peut voir encore deux au chemin de fer de l'Hérault; il a été repris, il y a trois ans, en Saxe, avec l'adjonction du système compound (2) et les constructeurs ont eu le bon goût de donner à ces machines le

(1) *Locomotive-tender articulee universelle, système Meyer*, Vienne, avril 1861; brochure autographiée.

(2) *Engineer*, n° du 23 octobre 1891, p. 340 et 346.

nom de système Meyer-compound. Sous cette forme, on a eu des résultats satisfaisants, mais on n'est pas exempt des difficultés du tuyautage articulé qui est toujours très compliqué.

Note F (page 569).

Le réseau des chemins de fer de la Corse a été construit en partie par l'État et est exploité par la Compagnie de chemins de fer départementaux. Le matériel a été établi d'après des études faites par une sous-commission composée de MM. Sevène, J. Martin, Marié, Ledoux, Sartiaux et Banderali, ces deux derniers rapporteurs, études consignées dans le rapport fait par cette sous-commission au Comité de l'Exploitation technique des chemins de fer ; ce rapport a été publié dans le tome III, 1883, des *Annales des Mines*.

Les machines sont des locomotives-tender à trois essieux accouplés et un essieu porteur à déplacement radial placé à l'arrière, pesant 28 1/2 *t*, avec approvisionnements complets, dont 24 *t* de poids adhérent, soit 8 *t* par essieu ; elles reproduisent, avec quelques modifications, le type construit par Beugniot pour le chemin de fer à voie de 1 *m* d'Hermes à Beaumont.

Lorsque nous fîmes, en 1884, l'étude de la machine articulée qui fait l'objet de ce travail, nous prîmes pour point de départ la charge par essieu de la machine Corse, la plus puissante à l'époque des locomotives pour voie de 1 *m*, tout au moins en France, et, nous proposant de réaliser de sérieuses améliorations par rapport à celle-ci, au point de vue de la capacité, nous dressâmes le projet d'une locomotive compound articulée portée sur quatre essieux et pesant (à 8 *t* par essieu) 32 *t* environ en ordre de marche. Les roues avaient 1 *m* de diamètre, l'écartement des essieux parallèles était de 1,40 *m*, l'écartement extrême de 4,60 *m*. Les cylindres avaient 0,28 *m* et 0,42 *m* de diamètre et les pistons 0,50 *m* de course ; la surface de chauffe totale était de 70 m^2. Cette étude fut publiée pour la première fois dans un mémoire de M. Ed. Carlier intitulé : *Los ferro-carriles economicos in 1885* et paru dans la *Revista de Obras Publicas* de Madrid du 30 juin de la même année, puis dans le *Génie Civil* du 25 décembre 1886. Les dessins avaient figuré à l'Exposition universelle d'Anvers en 1885. Ce projet est représenté figure 1, Pl. 107.

Ce type ne fut pas construit tout d'abord ; l'application du système commença par la voie Decauville de 0,60 *m*, puis par le type de 24 *t*. pour voie de 1 *m* des Chemins de fer départementaux. Enfin, en 1891, cette dernière Société, qui avait acquis l'expérience de nos machines sur ses lignes de Seine-et-Marne et du Vivarais, désirant avoir pour la Corse un type de locomotive plus puissant que le type dont il a été question plus haut et qui est connu sous le nom de type Banderali, du nom de notre regretté collègue qui avait eu une part prépondérante dans son adoption, proposa au Ministère des Travaux publics la construction d'une machine d'essai pour laquelle fut adopté le type déjà étudié par nous en 1884 pour la Corse. Ce projet fut approuvé par le Ministère, après

avis favorable du contrôle, du Comité d'exploitation technique des chemins de fer et du conseil général des Ponts et Chaussées. Cette locomotive (type V du tableau de la page 571 et *fig. 6, Pl. 107*), construite aux ateliers de Belfort de la Société Alsacienne de construction mécanique, ayant entièrement rempli le programme qui avait été indiqué, trois autres machines semblables ont été faites pour la ligne d'Ajaccio à Corte qui doit être ouverte dans toute son étendue à l'exploitation dans le courant de cette année. On a conservé dans l'exécution de ces machines, non seulement les dispositions générales de notre projet de 1884, mais les dimensions mêmes ont été respectées à ce point que, les plus grandes différences sont 5 *mm* sur le diamètre des grands cylindres, 70 sur l'écartement des essieux extrêmes et 2 m^2 sur la surface de chauffe totale. Les résultats de service ont été tout à fait conformes à ceux que nous annoncions il y a dix ans.

On a vu plus haut que la machine remorquait 50 *t* à 33 *km* à l'heure, sur un profil comportant de longues rampes de 30 *m* et des courbes de 100 *m* de rayon minimum. Un essai fait le 8 septembre 1893 a fait reconnaître que la même machine remorquait sur le même profil, Ajaccio-Vizzavona, un train de huit wagons pesant ensemble 98,9 *t*, à une vitesse qui n'est jamais descendue au-dessous de 15 *km* à l'heure, sur les rampes de 30. Le tableau des charges devant être remorquées par les premières machines corses, tableau dressé par M. Marié (1) et annexé au rapport de la sous-commission, donne pour les rampes de 30 (y compris la résistance de la courbe), 55 *t* à 15 *km* et 32 à 33 *km*, alors que la nouvelle machine donne 99 et 50 aux mêmes vitesses sur des rampes de 30, non compris la résistance de la courbe, et cela avec un poids total de 5 *t* ou 17 0/0 seulement supérieur, les conditions étant, bien entendu, les mêmes, beau temps et bon rail, dans les deux cas.

Le même type de locomotives est employé sur la ligne de Meyrargues à Nice de la Compagnie des Chemins de fer du Sud de la France (2), et d'Yverdon à Sainte-Croix (Suisse) dont il a été question plus haut, note B. Il a été adopté tout récemment par la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest, pour ses lignes à voie étroite de Bretagne, exploitées par la Société Générale des Chemins de fer économiques. Toutes les machines du type V ont été construites par la Société Alsacienne, à ses ateliers de Belfort, sauf celles d'Yverdon-Sainte-Croix qui ont été faites à Grafenstaden.

Note G (page 570).

Les six premières locomotives compound articulées, 181 à 186, du chemin de fer Central-Suisse, construites en 1890 et dont nous avons donné les dimensions principales avec un diagramme dans le Bulletin

(1) *Annales des Mines*, t. III, 1883, page 367.

(2) La meilleure preuve de la souplesse remarquable de ces machines est le fait suivant : Il a deux ans, la Compagnie du Sud de la France a envoyé à titre d'expérience une de ses locomotives de ce type de 33 *t* sur le réseau des tramways de la Côte-d'Or qui lui appartient. Cette locomotive a passé couramment en service normal dans les courbes de 40 *m* de rayon de ces tramways.

de juillet 1890 de la Société des Ingénieurs civils de France, étaient particulièrement destinées au service de la section de Sissach à Olten, où on trouve des déclivités de 17 1/2, 21 et 25, et le célèbre tunnel du Hauenstein de 2520 *m* de longueur, tout entier en rampe de 27 0/00. En revanche, le rayon des courbes ne descend pas au-dessous de 360 *m*.

Les nouvelles machines ne devant plus être confinées sur cette section de faible longueur (18 *km*), mais devant être employées au service général des trains de marchandises sur tout le réseau, il était nécessaire d'augmenter les approvisionnements d'eau et de combustible.

Pour conserver le type général de la machine et ne pas dépasser la charge de 15 *t* par essieu, on dut s'appliquer à réduire certains éléments. Le diamètre des roues fut ramené de 1,28 à 1,20 *m* et l'écartement des essieux extrêmes de 6,80 à 5,58 *m*. La surface de chauffe fut réduite de 116 *m* à 106,5 et, malgré l'augmentation de la pression portée à 14 *kg* au lieu de 12, le poids de la machine vide descendit de 48 à 43,5 *t* et, avec 7500 *l* d'eau dans les caisses et 4000 *kg* de combustible, on parvint à ne pas dépasser le poids de 59 *t* pour la machine en ordre de marche. Les chiffres du tableau de la page 571 sont ceux de la machine modifiée.

Disons, en passant, que la meilleure preuve du fonctionnement économique de ces locomotives est dans les petites dimensions relatives de la chaudière qui se montre toutefois parfaitement suffisante.

Ces nouvelles machines, 187 à 196, sont entrées en service dans la seconde partie de 1893 et un certificat délivré par M. l'Ingénieur Egger, *maschinenmeister* du Central-Suisse, au constructeur en date du 28 mars dernier, déclare que les attestations favorables contenues dans un premier certificat du 14 avril 1893 visant les six premières machines (certificat qui reproduit les termes de la lettre donnée à la page 570) (1), s'appliquent également et entièrement aux dix dernières.

Note H (page 574).

Les machines indiquées dans le mémoire comme étant en construction pour l'Allemagne sont entrées récemment en service.

Le 15 février dernier, dans un essai fait sous la direction de M. Schaefer, *Obermaschinenmeister* de la Direction Royale de Cologne (R. G. du Rhin) des chemins de fer de l'État prussien, sur la ligne de la Moselle, entre Trèves et Coblentz, distance 112 *km*, il a été constaté que la nouvelle locomotive compound à quatre cylindres remorquait un train de 75 wagons de 10 *t* dans le même temps que deux machines à six roues couplées, attelées en double traction, traînaient un train de même nature de 50 wagons (*Engineer*, 9 mars 1894, page 199).

Le succès des machines construites pour l'État de Bade paraît avoir été tout à fait décisif, si on en juge par le fait, qu'après quatre mois à peine de service de ces locomotives, la direction a mis en adjudication

(1) Ce certificat constatait, en outre, que les parties qui sont spéciales au système, telles que : articulation principale, glissières de l'avant-train, joint à flexible du tuyau de communication, tuyau articulé pour l'échappement, etc., n'avaient donné lieu à aucune usure ni à aucun entretien pendant la période considérée.

la fourniture de douze machines semblables. Cette nouvelle et rapide commande est d'autant plus significative que les chemins de fer badois sont les seuls en Allemagne qui possèdent des locomotives ordinaires à huit roues couplées avec lesquelles la comparaison a pu être faite, tout à l'avantage, parait-il, du système articulé.

Enfin, les ateliers Maffei ont reçu dernièrement des commandes de machines semblables pour les chemins de fer de l'État bavarois et pour les chemins de fer ottomans d'Anatolie.

Note I (page 576).

On pourrait supposer que l'utilité des machines flexibles a quelque peu perdu de son importance depuis les expériences de la Commission des petits rayons et les conclusions émises sur la question de la circulation en courbe par le Congrès international des chemins de fer, dans sa dernière réunion tenue en 1892 à Saint-Pétersbourg. Ces conclusions sont ainsi conçues :

« 1° A la condition de limiter convenablement la vitesse, on peut admettre, sur des points particuliers, en raison de circonstances exceptionnelles, sur des lignes à voie normale placées en dehors des grandes circulations, des courbes de faible rayon pouvant descendre à 150 *m* et même à la rigueur au-dessous, le matériel ordinaire de la voie normale pouvant généralement passer dans de semblables courbes à vitesse réduite.

» 2° D'après les expériences dont il a été rendu compte plus haut (expériences de la Commission des petits rayons), le surcroit de résistance dans ces courbes pourrait être évalué en palier à 4 *kg* par tonne pour les courbes de 200 *m* de rayon et à 6 pour les courbes de 150 *m*, ces chiffres n'étant que des indications et étant entendu que le surcroit de résistance peut varier dans des limites très étendues, d'après les résultats mêmes des expériences.

» 3° Les chiffres précédents sont intéressants à relater au point de vue de l'étude des projets de lignes. Mais on ne doit pas perdre de vue que les courbes de faible rayon imposent une certaine augmentation des dépenses d'exploitation, non seulement par suite du surcroit de résistance, mais aussi en raison de l'usure du matériel et de la voie qui en résulte. Enfin, il convient de tenir compte des chances de la déformation de la voie qu'entraine le surcroit de résistance.

» 4° Si, par diverses considérations, on est conduit à réduire le rayon de certaines courbes, il faut tenir compte des rectifications ultérieures qui pourraient s'imposer ».

Ces conclusions entourées de restrictions et de prudentes réserves, sont, comme on le voit, très modérées. Elles ont cependant paru encore trop hardies à plusieurs membres du Congrès qui proposaient de les adoucir encore, à en juger par les discussions pleines d'intérêt qui ont eu lieu le 24 août 1892, au Congrès de Saint-Pétersbourg (1), discussions dans

(1) *Bulletin de la Commission internationale du Congrès des chemins de fer*, vol. VII, p. 309 et suivantes.

lesquelles les partisans de la voie étroite, notre collègue M. Level en tête, ont signalé l'erreur grave où on tomberait en voulant attribuer à la voie large une flexibilité comparable à celle qui est la qualité incontestée jusqu'ici et la principale raison d'être des écartements réduits.

Le fait matériel de la possibilité rigoureuse du passage du matériel ordinaire des chemins de fer dans des courbes de rayon très réduit est connu depuis longtemps. Nulle part, il n'a été constaté par des exemples plus multipliés qu'en Amérique. Pour ne parler que de la France, ce fait a été mis hors de doute depuis quarante ans dans des circonstances bien connues.

Perdonnet rapportait dans son cours (1) que le service du matériel et de la traction de la Compagnie de Strasbourg, sous la direction de M. Sauvage, a exploité pendant quatre mois et sans aucun accident, l'embranchement de Metz à Forbach sur la voie de ceinture exécutée provisoirement autour de la montagne du Steinberg avec des rampes de 6 0/0 et des courbes de 150 *m*. On a fait, ajoute-t-il, en passant dans ces courbes avec des machines à six roues couplées, un véritable tour de force, mais les machines ne marchaient qu'au pas et éprouvaient une fatigue excessive.

La maison de Wendel a exploité de 1863 à 1865 (2) un embranchement de 10 *km*, de Hagondange à Moyeuvre, avec une courbe de 90 *m* de rayon formant presque un quart de cercle ; on y passait avec des machines de 27 *t* à 6 roues couplées et on y a fait circuler un train formé de 42 wagons de l'Est, pesant 340 *t* et ayant près de 300 *m* de long.

Couche, qui rapporte ce fait, ajoute, il est vrai, comme correctif, que lorsque MM. de Wendel ont remanié le raccordement du chemin de fer de Moyeuvre à la ligne de Thionville, ils ont porté à 200 *m* le rayon de la courbe de 90 *m* ; ce fait est d'autant plus remarquable, dit-il, que la la ligne offrait de nombreuses courbes de 150 *m* et que M. Varroy, qui le cite dans sa note sur les Chemins de fer départementaux de la Meurthe (1866), dit que ces courbes de 150 *m* sont considérées comme n'offrant réellement pas une gêne appréciable aux vitesses de 16 à 20 *km* en usage.

On avait constaté, bien avant, que les machines à six roues couplées du chemin de fer de Rhône et Loire passaient en service dans les courbes de très faible rayon. Dans un mémoire très intéressant intitulé « Résultats pratiques de divers modes de traction et d'exploitation successivement employés sur les anciennes lignes de Rhône et Loire (3) », M. Bourson rapporte que « des machines à six roues couplées, d'un petit modèle, il est vrai, ont passé pendant des années dans des courbes et contre-courbes de 100 *m* qui n'étaient même pas raccordées par des portions de lignes droites (4). De plus, de puissantes machines à six roues couplées ont été appelées à faire un service pour lequel elles n'étaient

(1) *Traité élémentaire des chemins de fer*, 2e édition, 1858, tome I, p. 125.

(2) Couche, *Voie, Matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, t. III, p. 671.

(3) *Annales des Ponts et Chaussées*, 1863, 1er semestre.

(4) Ligne de Saint-Étienne à Andrézieux.

pas établies, sur une rampe de 33 0/00 avec courbes de 150 et même 124 *m* de rayon (1). Le service a pu se faire régulièrement, mais à une très petite vitesse ». M. Bourson ajoute : « Sans descendre à ces limites pour des modèles de machines présentant les écartements et la rigidité ordinaires, on voit que des courbes de 200 et 300 *m* de rayon n'ont rien qui doive inspirer des inquiétudes ou causer des difficultés pour l'installation du matériel ».

Enfin, la classique expérience de Saint-Gobain, en janvier 1864, a montré que, sans autre artifice que des jeux transversaux suffisants pour les essieux, des machines à 12 roues avec 6 *m* d'écartement extrême, pouvaient circuler dans des courbes de 80 *m* de rayon.

Personne n'a cherché à tirer de ces faits positifs des conclusions générales. « Le simple jeu longitudinal des essieux parallèles (2), dit à ce sujet Couche, suffit dans des limites d'entre-axes et de courbes beaucoup plus larges qu'on ne le supposait. Mais conclure d'expériences que des machines à essieux parallèles de grand empattement pourraient circuler régulièrement dans des courbes de faible rayon, ce serait donner à une sorte de tour de force une signification et une portée abusives et, si l'on voulait passer outre, on serait bien vite rappelé au sentiment de la réalité par le surcroît de résistance et d'usure et surtout par la fréquence des déraillements » (3).

Une partie des exemples que nous avons cités plus haut étaient connus lors de l'enquête de 1862 sur les chemins de fer et les Compagnies françaises, interrogées sur la question suivante : « Quel est, eu égard aux conditions actuelles d'établissement du matériel roulant et aux perfectionnements les plus récents apportés à la disposition de ce matériel, le minimum que l'on peut admettre pour le rayon des courbes sur les chemins de fer ? » ont répondu à peu près unanimement que le rayon de 300 *m* devait être considéré comme minimum ordinaire, sauf à descendre à 200 *m* dans de rares exceptions ou pour des embranchements. Seul l'Orléans admettait qu'à titre d'exception on pouvait descendre à 180 et 160 *m* et le Lyon-Méditerranée acceptait exceptionnellement aussi le rayon de 180 à 200 *m* pour des passages difficiles (4).

On trouve fréquemment dans les bulletins de notre Société la preuve que les idées des Compagnies, relativement aux rayons minimum à introduire en pratique, étaient partagées par les Ingénieurs les plus compétents.

Dans la séance du 15 mai 1868, au cours de la discussion sur les chemins de fer d'intérêt local, M. de Nordling, répondant à notre collègue

(1) Voie provisoire du souterrain de Terrenoire, fin 1865 ; c'étaient des machines type Bourbonnais, pesant environ 36 tonnes en service.

(2) *Voie, matériel roulant*, etc., t. II, p. 511.

(3) Nous ferons remarquer que dans la discussion sur les conclusions du Congrès des chemins de fer, données plus haut, on avait proposé d'ajouter à ces conclusions la phrase suivante : « Enfin il faut tenir compte des chances de déformation de la voie par suite du surcroît de résistance *et même des chances de déraillement en cas d'un faible accroissement de vitesse* ». L'Assemblée a admis l'adjonction de la première partie de la phrase, mais non celle de la seconde que nous avons soulignée *(Bulletin de la Commission internationale*, vol. VII, p. 321).

(4) *Les Chemins de fer en 1862 et en 1863,* par Eugène Flachat, p. 170.

Richard qui s'appuyait sur le passage ci-dessus du mémoire de M. Bourson, pour invoquer l'emploi de la voie normale sur les lignes d'intérêt local, dit qu'il croit impossible de faire circuler le matériel ordinaire, dans des conditions pratiques, dans des courbes de 90 *m* de rayon. Il cite, page 284, deux exemples de chemins provisoires avec courbes de 150 et 175 *m* de rayon. Ces chemins, nécessités par des réparations de la voie principale, n'ont pu servir à l'exploitation qu'en prenant certaines précautions. La vitesse y était réduite dans une grande proportion et, sur le chemin de l'Est, les trains ne circulaient dans ces portions à faible rayon qu'en étant précédés d'un homme à pied. M. de Nordling ajoute qu'il suffisait de regarder comment se comportaient les boudins des roues pour s'assurer qu'on ne pouvait pas impunément augmenter la vitesse des trains.

Dans la même séance, Eugène Flachat s'exprime de la manière la plus nette : « Les opinions hostiles à l'établissement de la voie réduite quelque part que ce soit, affirment que la voie ordinaire se prête aux courbes des plus faibles rayons et que, sous ce rapport, elle peut être tracée partout où le serait la voie réduite ; c'est là une erreur manifeste, le rayon minimum de 300 *m* imposé par les cahiers des charges est consacré par l'expérience là où la marche des trains ne doit subir aucun ralentissement, et il n'est réduit que très exceptionnellement là où la vitesse n'est pas en cause. Dans ce cas, l'administration tolère des rayons de 250 *m* : l'expérience prouve qu'il est difficile de descendre plus bas. »

Nous croyons inutile de multiplier ces citations ; celles qui précèdent suffisent pour faire voir que les exemples bien connus de courbes de très faible rayon exploitées par des locomotives, n'avaient point converti les ingénieurs de chemins de fer à l'emploi même restreint de ces rayons. « De la rigoureuse possibilité d'un fait, dit Couche à ce sujet, à la pratique courante, il y a loin. »

S'est-il produit depuis trente ans, dans l'ordre technique, des faits de quelque importance de nature à modifier d'une manière appréciable les conditions de la circulation en courbe du matériel de traction ? Évidemment non, et il semble dès lors que la situation n'a pas changé et qu'on rencontre toujours l'existence simultanée, d'une part, d'exemples bien avérés du passage de locomotives en courbes de faible rayon et, de l'autre, de la répugnance de la pratique à admettre ces rayons autrement qu'à titre exceptionnel. Nous ne croyons pas que les expériences de la Commission des petits rayons, dont nous sommes bien loin, d'ailleurs, de contester la valeur et l'intérêt, et les conclusions, assez timides du reste, du Congrès de Saint-Pétersbourg, aient changé sensiblement cette situation.

On le comprendra bien mieux, si, remontant à l'origine de la question telle qu'elle est posée actuellement, on se rappelle quel était, au moins au début, l'objet principal et immédiat des recherches de la Commission.

Des lignes avaient été concédées dans le département du Var à la Compagnie des Chemins de fer du Sud de la France ; elles étaient à l'écartement de 1 *m* et comportaient des rampes de 27,5 0/00 et des rayons de courbes de 150 *m* minimum. Des considérations de l'ordre

stratégique firent ajouter une seconde file de rails permettant d'avoir à la fois la voie de 1 *m* et la voie normale. On dut alors se préoccuper de savoir si, dans le cas d'éventualités sur lesquelles il est inutile d'insister, on pourrait faire circuler sur ces lignes le matériel de transport et aussi les locomotives des grandes lignes, ce qui paraissait douteux à beaucoup de personnes, ou si on ne serait pas obligé de recourir à des locomotives spéciales, solution donnant lieu à des objections de divers ordres. Une Commission, dite *des petits rayons*, fut instituée à la fin de 1890 par le Ministre des Travaux publics et la présidence en fut donnée à M. l'Inspecteur général de la Tournerie. L'objet immédiat de ses recherches était de constater si on pouvait réaliser la traction sur la voie normale des lignes du Sud de la France avec les locomotives des grandes Compagnies ; au cas où cette question serait résolue affirmativement, il pourrait y avoir lieu d'examiner si on ne pourrait pas abaisser le rayon minimum des courbes dans la construction de nouvelles lignes secondaires à voie normale en pays accidenté, pour réduire le coût d'exécution de ces lignes dans une mesure assez importante.

La Commission opéra d'abord, dans les premiers mois de 1891, sur la ligne même du Sud de la France, aux environs de Draguignan. Les machines employées furent : 1° des machines de gare P.-L.-M. accouplées deux à deux ; 2° une machine à six roues couplées, type Bourbonnais 1 500, de la même Compagnie ; 3° une machine même type, des chemins de fer de l'État, munie de plans inclinés à l'essieu d'avant ; 4° une machine compound articulée, de notre type VII, appartenant aux chemins de fer de l'Hérault.

Ces expériences, faites avec beaucoup de soin avec un wagon dynamomètre P.-L.-M. et avec l'appareil Desdouits employés simultanément, eurent lieu en plusieurs fois sur la section comprise entre Draguignan et Callas, comportant, comme il a été indiqué plus haut, des rampes de 27,5 0/00 et des courbes de 150 *m* de rayon, et montrèrent que les machines ordinaires pouvaient faire strictement ce qu'on leur demandait, c'est-à-dire remorquer sans accident sur ce profil des charges raisonnables, 86 *t* dans l'espèce, derrière le tender (1). Ce fait une fois acquis, les expériences ont été continuées à Noisy-le-Sec, sur les machines ordinaires seules, dans le but d'étudier à fond leurs conditions de passage et leur résistance dans les courbes de petit rayon.

Nous croyons pouvoir ajouter que les expériences du Var avaient fait ressortir très nettement la supériorité de la machine articulée. En effet, non seulement celle-ci avait remorqué, dans des conditions identiques, une charge de 23 à 35 0/0 supérieure (106 et 116 *t* au lieu de 86) (2), mais la facilité avec laquelle elle circulait dans les courbes contrastait singulièrement avec la fatigue que paraissaient éprouver les

(1) Il semble que ce fait pouvait facilement être prévu d'avance, puisque les machines ordinaires qu'on se proposait d'essayer, celles du type Bourbonnais, avaient, vingt-cinq ans auparavant, fonctionné d'une manière régulière dans des courbes de rayon encore inférieur sur la voie provisoire du souterrain de Terrenoire, comme on l'a indiqué plus haut.

(2) Les trains étaient composés de wagons couverts pesant 10 *t* et du wagon dynamomètre P.-L.-M. de 16 *t*.

machines à empattement rigide. On pouvait, avec ces dernières, apprécier par les cercles lumineux décrits au soleil par les boudins des roues du parfait poli dû au frottement de ceux-ci contre les rebords des rails et le grincement qui se faisait entendre au passage des courbes attestait que ce passage ne s'accomplissait pas sans de bruyantes protestations de la part des machines (1).

Le seul reproche qu'on ait pu adresser à la locomotive articulée est d'avoir un peu manqué d'adhérence dans un tunnel à la fin d'un parcours, par suite de l'épuisement des approvisionnements et de l'allègement de 3 à 3 1/2 *t*, soit 8 à 10 0/0 qui en résultait pour la machine dont le poids devenait alors notablement inférieur à celui de ses concurrentes. Ce défaut n'était pas attribuable au système, mais simplement à la condition de machine-tender. Avec 2 ou 3 *t* de plus, l'inconvénient ne se fût pas produit.

Si nous nous sommes un peu étendu sur ces essais, c'est pour bien indiquer qu'il ne s'agissait pas, dans l'espèce, de la recherche de la meilleure solution, mais simplement de la constatation de la *suffisance* des machines ordinaires pour un cas qu'on peut considérer comme à peu près exceptionnel. Ces essais ne peuvent donc en rien être invoqués contre l'utilité de la machine articulée. Il est d'ailleurs assez curieux de signaler que, sur la ligne même de Meyrargues à Nice, où ont été faites en 1891 les expériences de la Commission des petits rayons, circulent aujourd'hui sur la voie étroite des machines articulées qui fonctionnent à l'entière satisfaction de la Compagnie du Sud de la France et pourraient y remorquer, s'il en était besoin, sur la voie normale, des trains ayant des charges à peu près égales (2) à celle de 116 *t* remorquée aux essais par la machine de l'Hérault et très notablement supérieures à celles qu'ont traînées dans les mêmes expériences les machines ordinaires à voie normale.

Un fait assurément remarquable est que les importantes administrations qui emploient notre système articulé sur la voie normale, n'ont pas de courbes de très faible rayon. Le Central Suisse n'a pas, sur la ligne de Bâle à Olten où étaient localisées ses premières locomotives de ce type, de courbes de moins de 360 *m* en pleine voie; sur le reste de son réseau où circulent maintenant ces machines, le rayon ne descend pas au-dessous de 240 *m*. Il en est de même des autres lignes; on trouve donc avantage à employer ces machines dans des cas où l'usage n'en est pas indispensable, parce que, tout en étant très puissantes, elles fatiguent moins la voie que des locomotives ordinaires plus faibles. Ce point nous paraît devoir être signalé tout particulièrement, et il explique la faveur qu'a trouvée ce modèle de machines dans des occasions où il semblait à première vue n'avoir aucune raison sérieuse d'être préféré, tout au moins au point de vue du passage dans les courbes.

(1) Un certain nombre de membres de la Société des Ingénieurs Civils étaient présents avec nous à l'expérience du 17 juillet 1891. C'étaient MM. A. Bazaine, alors Ingénieur de la Compagnie du Sud de la France; Chassin, directeur des Tramways de la Côte-d'Or; Petit, administrateur des chemins de fer de l'Hérault, et Thomas, Ingénieur des Etablissements Cail, constructeurs de la machine articulée.

(2) 100 *t* sur rampes de 30 et courbes de 100 *m*, charge traînée par la machine de la Corse, équivalent sensiblement à 114 *t* sur rampes de 27,5 et courbes de 150 *m*.

Note J (page 577).

Les 110 machines dont il était question dans le mémoire qui précède, fonctionnant sur 22 lignes affectées à un service public et sur un certain nombre de chemins de fer industriels, miniers, etc., se subdivisaient de la manière suivante : 44 pour voies de moins de 1 *m* d'écartement dont la plupart pour voie de 0,60 *m*; 42 pour voies de 1 *m* et 24 pour voie normale.

Ces 110 machines avaient un poids total à vide de 2 428 *t* et une surface de chauffe collective de 6 017 m^2; ce qui, à raison de 4 *ch* effectifs par mètre carré (1), donne une puissance totale de 24 068 *ch* effectifs. La moyenne ressort donc très sensiblement à 100 *kg* de poids à vide par cheval et 400 *kg* par mètre carré de surface de chauffe. Ces chiffres n'ont rien d'excessif, si on veut bien remarquer qu'il s'agit presque exclusivement (107 sur 110) de machines-tender et que le poids de ces machines varie dans des limites très étendues, de 9 1/2 à 66 *t*, le poids moyen étant de 22 *t* seulement.

On peut évaluer à 35 000 chevaux, en nombre rond, la puissance effective totale des locomotives de ce système en service ou en construction actuellement (fin mai 1894).

(1) Nous basons cette évaluation sur une dépense de vapeur de 12 *kg* par cheval effectif par heure et une vaporisation de 48 *kg* par heure et par mètre carré de surface de chauffe, chiffres très admissibles en moyenne pour des machines de ce genre.

NOTES

DE

NOS CORRESPONDANTS ET MEMBRES

DE PROVINCE ET DE L'ÉTRANGER

RÉSUMÉ

DES

TRAVAUX HYDRAULIQUES

DE

L'INGÉNIEUR ENRICO CARLI (1)

PAR

M. D. FEDERMAN

MEMBRE CORRESPONDANT DE LA SOCIÉTÉ, A TURIN

Aqueduc de Vérone.

Il s'agissait de fournir un volume de 7000 m^3 d'eau par jour pour une population de 70000 habitants, avec une pression d'environ 35 *m* sur le plan moyen de la ville.

L'établissement mécanique pour l'élévation des eaux comprend une turbine qui utilise une partie de la force même du canal de prise d'eau, d'une machine à vapeur destinée à remplacer la turbine dans les cas très rares où celle-ci ne pourrait agir, deux groupes de pompes à piston, les transmissions et accessoires et les appareils pour l'éclairage électrique.

L'eau aspirée dans une galerie par les pompes est refoulée à la pression voulue dans la conduite maîtresse en fonte, laquelle, une fois en ville, se bifurque en deux ramifications approximativement parallèles à la périphérie de la ville, pour se réunir ensuite en une seule conduite qui monte la colline et se rend au réservoir.

(1) Quatre brochures avec planches inscrites à la bibliothèque de la Société sous les nos 33783, 33784, 33785, 33786.

En jetant un coup d'œil sur le plan général *(Pl. 1)* (1), on s'aperçoit que le réservoir est dans une position des plus avantageuses. En effet, il se trouve en un point de la ligne de distribution que l'on peut considérer comme diamétralement opposé à celui où sont les machines élévatoires. De telle sorte que le réservoir fait l'office de compensateur des variations de la consommation, ainsi que de régulateur de la pression, les canalisations secondaires se détachant de la conduite maîtresse.

L'installation mécanique a été calculée pour élever 90 *l* d'eau par seconde à 63 *m* de hauteur.

Le travail nécessaire étant $\frac{90 \times 63}{75} = 77,28\,ch$ et les pompes ne rendant que 80 0/0, la force effective à demander est $\frac{77,28}{0,80} = 96,60\,ch.$

On a installé une turbine, système Girard, prenant 1 200 *l* par seconde avec une chute de 9 *m*, qui, avec un rendement de 75 0/0, développe une force effective de 108 *ch*.

Les planches 3 et 4 donnent une idée très exacte de l'établissement des machines qui comprend, outre la turbine et la machine à vapeur, deux groupes de pompes type Girard et les accessoires.

Le tuyau d'introduction à la turbine est à section elliptique de 1,70 *m* (horizontale) et 0,90 *m* (verticale) ; le diamètre du caisson est de 1,70 *m* ; le rayon de la roue mobile a 0,70 *m*, la hauteur de la couronne de cette dernière, 0,14 *m* ; la vitesse est de 92 tours par minute.

La machine à vapeur qui doit fonctionner, en cas d'impossibilité de la turbine, est à expansion variable, commandée par le régulateur. Le diamètre du cylindre est de 0,435 *m*, la course du piston, 0,68 *m*, le nombre de tours, 70 par minute.

La conduite maîtresse qui part des pompes a un diamètre de 0,40 *m* sur un parcours de 940 *m*, puis elle se divise en deux branches périmétriques, la première d'une longueur de 1 960 *m*, l'autre de 2 894 *m*, ayant toutes deux un diamètre de 0,30 *m*. Enfin, au raccord, la conduite reprend son diamètre de 0,40 *m* sur une longueur de 450 *m*.

A parité de charge, le débit des deux tuyaux de 0,30 *m* est presque exactement égale à celui de la conduite maîtresse de 0,40 *m*, et en calculant le débit de la conduite principale sur la base de

(1) Pour les planches et dessins, voir les quatre brochures déposées à la Bibliothèque.

0,40 *m* de diamètre pour une longueur de 3 834 *m* qui résulte en suivant le plus long parcours de l'un des embranchements, on est certain d'être au-dessous de la vérité. Or, avec la perte de charge unitaire de 0,002 *m*, le débit est : $Q = \sqrt{\frac{0,40^5 \times 0,002}{0,0025}} = 90$ *l* par seconde.

La longueur développée du réseau des conduites dans la ville est de 25 505 *m*. Ce réseau a été spécialement étudié pour obtenir, autant que possible en pratique, l'uniformité de pression, de circulation et de température en chacun de ses points.

Aqueduc de Mantoue.

La galerie de prise d'eau est construite de façon à être facilement inspectée et, au besoin, à être élargie. La hauteur des eaux est de 3,50 *m* et le plan inférieur des tuyaux d'aspiration des pompes se trouve à 0,50 *m* au-dessus de la sole, de manière que si les eaux s'abaissaient de 2,50 *m*, les pompes pourraient manœuvrer encore avec un battant utile de 0,50 *m*.

L'établissement mécanique est double : deux groupes égaux de moteurs à vapeur de 15 *ch* et pompes à double effet. Chacun de ces groupes peut envoyer aux réservoirs 48 *l* par seconde. Deux générateurs Cornwall fournissent la vapeur à chaque machine. Pour la plus grande liberté du service et de la manœuvre, les prises et les tuyaux de vapeur sont disposés pour que les deux chaudières et les deux moteurs puissent alterner leur accouplement. Les machines sont à expansion variable et à condensation, et, dans le projet d'installation, on a prévu, aussi bien pour l'eau des condenseurs que pour la décharge de ceux-ci ou des chaudières, un réservoir spécial et un puisard à une certaine distance de l'usine. Le magasin au combustible peut contenir 100 *t* de charbon, ce qui permet de n'avoir à faire que deux provisions par an.

Les réservoirs consistent en deux bassins égaux couverts chacun de neuf voûtes à croisières, soutenues par trois voûtes à fût. Leur capacité totale est de 529.93 m^3 ; elle a été déterminée afin de servir à emmagasiner la différence entre le volume élevé par les pompes et celui de la consommation de la ville pendant les heures de nuit.

Les murs périmétriques des réservoirs sont doubles avec prisme d'air interposé ; sur les croisières est un lit de béton avec double chape pour préserver l'eau de la chaleur et du froid. Une seule

porte à double vantail, à fermeture hermétique, donne accès à l'intérieur de l'édifice.

On a pourvu à la ventilation par deux *aérateurs* qui prennent l'air près de la porte et l'envoient, par voie souterraine, dans la partie centrale des réservoirs, où, au moyen d'orifices spéciaux ouverts dans tous les piédroits et murs périmétriques, il entre dans l'intervalle compris entre le niveau des eaux et les voûtes, rappelé par des cheminées placées au centre de toutes les croisières.

Le tuyau de refoulement des pompes monte la côte, et, arrivé à proximité des réservoirs, il se bifurque moyennant une pièce à Y, dont chacun des bras entre dans un des deux réservoirs. Du côté opposé à l'entrée de ces bras partent les tuyaux de prise d'eau qui vont se réunir à la conduite maîtresse. Le fond des bassins est incliné vers le centre d'où partent des tuyaux de décharge destinés à vider et nettoyer les réservoirs. Deux tuyaux de trop plein empêchent l'élévation des eaux au-dessus d'une certaine limite et leur tuyau rejoint celui de la décharge. Six vannes d'arrêt, placées aux points voulus, servent à mettre en communication ou à isoler les deux bassins, afin de pouvoir s'en servir isolément ou simultanément. Un niveau à flotteur indique dans chaque bassin, sur une échelle graduée à l'extérieur, la hauteur des eaux.

Le développement total du réseau de distribution est de 16 530 *m* pour une ville de 32 000 habitants.

L'eau potable et la force hydraulique à Bassano.

Les aqueducs des villes de plaines et éloignées de toute colline ne sont jamais pourvus de véritables bassins-réservoirs, parce que leur construction deviendrait trop onéreuse. On y supplée par des petits réservoirs de structure métallique compensateurs de la consommation et régulateurs de la pression, placés en des points opportuns de la ville, avec double conduite et double installation mécanique lorsqu'il s'agit d'élévation artificielle des eaux.

Selon sa situation relativement au réseau des conduites de distribution en ville, de sa capacité et du débit du conduit qui le relie au réseau, le réservoir peut servir à l'un ou à l'autre ou aux deux buts suivants :

1° Compenser les volumes entre le débit constant de la conduite *externe*, c'est-à-dire celui de la prise d'eau jusqu'au réser

voir, ou bien jusqu'au réseau de distribution, et la consommation variable de la ville ;

2° En cas d'accidents à la conduite externe ou aux ouvrages de prise d'eau qui les rendent temporairement hors de service, de suppléer, par l'eau emmagasinée, à la consommation pendant les réparations.

Avec le premier but, et comme conséquence de celui-ci, on obtient toujours un autre avantage qui est de rendre uniforme et constante la pression dans le réseau.

Pour apprécier les avantages dérivant du réservoir (en ce qui touche le premier but), il y a lieu d'observer que q représentant la consommation unitaire moyenne des heures de minuit à six heures du matin, étant données les habitudes prédominantes du pays, on peut retenir que les variations de consommation d'eau pendant la journée de vingt-quatre heures sont en moyenne comme suit :

1re période,	de minuit à	6 h.,	consommation	q	(en litre par 1").	
2e	—	— 6 h. à 10 h.,	—	$3q$	—	—
3e	—	— 10 h. à 4 h.,	—	$2q$	—	—
4e	—	— 4 h. à 7 h.,	—	$3q$	—	—
5e	—	— 7 h. à minuit,	—	$2q$	—	—

Sans un réservoir fonctionnant comme compensateur, Q étant la portée constante de la conduite externe, on aurait évidemment $3q = Q$, et, dans le cas de Bassano, les volumes, basés sur les susdites variations qui pourraient être *consommés utilement*, seront pour la *provision modeste* (que nous appellerons PM) de 10 l par seconde, et pour la *provision abondante* (PA) de 15 l par seconde, les suivants :

	PM	PA
	—	—
1re période	72 m^3	108 m^3
2e —	144	216
3e —	144	216
4e —	108	162
5e —	120	180
Utilement consommables	588 m^3	882 m^3
Débit journalier	864	1 296
DIFFÉRENCE	276 m^3	414 m^3

Cette différence représente le volume d'eau qui serait perdu au cas où manquerait le réservoir compensateur, ou plutôt qui ne pourrait être utilisée par les consommateurs, puisque le débit de la conduite externe est constant, tandis que la consommation est variable pendant les différentes périodes de la journée.

S'il existe un réservoir compensateur, on a, au contraire, $3q > Q$, et précisément :

$$3q = \frac{864}{588} = 14{,}70\,l \text{ par seconde (PM).}$$

$$3q = \frac{1\,296}{588} = 22{,}04\,l \text{ par seconde (PA).}$$

Et dans ce cas, toute l'eau portée en ville par la conduite externe peut être consommée utilement.

Quelle est alors la capacité à donner au réservoir pour servir à la compensation des volumes? Évidemment celle qui suffira à emmagasiner la différence $Q - q$ pendant la première période, c'est-à-dire :

$$(10\,l - 4{,}90)\ 6 \times 3{,}60 = 110{,}16\,m^3 \text{ (PM).}$$
$$(15\,l - 7{,}35)\ 6 \times 3{,}60 = 165{,}24\,m^3 \text{ (PA).}$$

Mais si l'on veut que le réservoir serve aussi au second but, c'est-à-dire comme magasin de réserve dans les cas de réparations, il faut lui donner une capacité suffisante pour suppléer à la consommation, une journée entière au moins. Comme, en de telles circonstances, on avertit la population de limiter sa consommation, en fixant la capacité du réservoir à $500\,m^3$ (PM) et $750\,m^3$ (PA), celle-ci sera amplement suffisante.

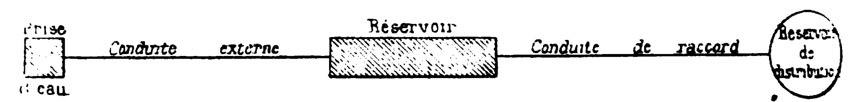
Lorsque le débit des sources alimentaires d'un aqueduc est insuffisant seulement pendant les heures de la plus grande consommation et que la distance entre les sources et la ville est à peu près égale ou un peu supérieure à celle de la hauteur la plus voisine de la ville, on conçoit que le bassin-réservoir soit superflu ; mais il faut un réservoir compensateur, lequel peut être placé utilement à la source même des eaux alimentaires. Comme il s'emplit pendant les heures de moindre consommation et se vide alors que celle-ci est maxima, la conduite doit pouvoir donner un débit correspondant à la plus grande consommation.

La combinaison qui peut se présenter le plus fréquemment est que la distance entre la prise d'eau et la ville soit plus grande que celle de la hauteur la plus voisine de la ville, et qu'il soit conve-

nable de construire un bassin-réservoir sur cette hauteur. Il y a lieu alors de distinguer deux cas :

1° Ou le bassin-réservoir est placé entre la prise d'eau et le réseau de distribution en ville, comme l'indique la figure ci-dessous :

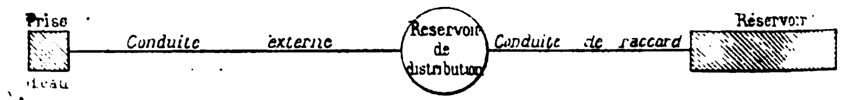
Dans ce cas, la conduite de raccord entre le réservoir et le réseau doit être capable d'un débit de 15 *l* (PM) et 22,50 *l* (PA), si la conduite externe a une portée de 10 et 15 *l* ;



2° Ou bien le bassin-réservoir est placé dans une position telle qu'il communique directement avec le réseau de distribution, et celui-ci directement avec la conduite externe, ce qui arrive lorsque le réservoir se trouve dans l'intérieur du périmètre du réseau, et même au dehors, mais non à proximité du point d'arrivée de l'eau, comme ci-dessous.

En ce cas, le débit de la conduite externe étant 10 et 15 *l*, pour obtenir la compensation des volumes, il suffira que la conduite de raccord entre le réservoir et le réseau soit capable de la portée :

10,00 — 4,90 = 5,10 *l* par seconde (PM).
15,00 — 7,35 = 7,65 *l* par seconde (PA).



Cependant on fera mieux de donner aux deux conduites externe et de raccord un même diamètre ; la dépense n'augmente guère, parce que la conduite de raccord est toujours courte, et l'on obtient d'ailleurs l'avantage de pouvoir disposer en certaines circonstances, comme par exemple en cas d'incendie, d'un plus grand volume d'eau en une unité de temps.

La partie relative à la force hydraulique est un projet pour prendre 3 700 *ch* dans la Brenta, au-dessus de Bassano et les transporter électriquement à Venise (58 *km*) où l'on aurait 2 500 *ch* effectifs.

Les ouvrages à la prise de force s'élèveraient à. .	750 000*f*
Le matériel et l'établissement électrique avec son câble	2 100 000
Total.	2 850 000*f*

Ce qui remettrait le coût du cheval $\frac{2\,850\,000}{2\,500} = 114\,f$ rendu à Venise.

Les frais annuels, intérêts du capital, manutention, administration, etc., se monteraient à 250 000 *f*, soit 100 *f* par cheval.

L'eau potable et la force hydraulique à Vicence.

La prise d'eau se fait à environ 3 *km* de la ville dans le sous-sol. Les couches desquelles jaillissent les eaux se composent de sables graveleux et d'argile plus ou moins compacte, sans la moindre trace de dépôts tourbeux. Le toit qui couvre la rivière souterraine est constitué d'argile très compacte qui présente une garantie sur l'origine des eaux, car on sait que, dans de telles conditions, elles se chargent d'excellents principes minéralisants dont la composition reste constante et à l'abri de toute souillure.

Quant au système de forage, l'ingénieur Carli s'est décidé en faveur des puits forés, dont l'expérience a été faite avec succès par notre distingué collègue, F. Lavezzari, à Venise, pour le compte de la Compagnie générale des Eaux pour l'Étranger.

En ce qui concerne le diamètre à adopter pour ces puits, nous ne pouvons mieux faire que de rapporter un passage de la relation de M. l'ingénieur F. Lavezzari à la municipalité de Venise :

« La couche aquifère fut atteinte à la profondeur de 10,50 *m*. A 13,20 *m* on obtint une quantité d'eau maxima de 2 *l* par seconde des puits du plus petit diamètre (0,05 *m*) et la quantité maxima 1/3 à 1 *l* de ceux du plus grand diamètre (0,10 *m* à 0,16 *m*). »

On fonça ensuite des puits de petits et grands diamètres jusqu'à 1 *m*, et, sur les résultats obtenus, le même rapport nous fait savoir que « l'ampleur du diamètre n'eut jamais aucune influence sur le débit de chaque puits ; au contraire, avec les derniers puits artésiens de grand diamètre, le débit fut bien inférieur à celui des premiers ».

Pour la captation des eaux, en général, on doit tenir compte de ce que nous indique l'expérience ; c'est-à-dire que la distribution d'un puits artésien est surtout limitée par la nature plus ou moins perméable des couches aquifères, et que le débit de ces puits n'est point proportionnel à leur diamètre.

On conçoit *a priori* comment, dans chaque cas particulier, il y a lieu de déterminer le diamètre à adopter pour obtenir *le plus grand effet utile*. Pour le bassin de S. Ambrogio qui donne l'eau à

Venise, les nombreux essais ont indiqué un diamètre de 0,08*m* comme rendant le maximum, et les trois cents puits forés sous les ordres de l'ingénieur Lavezzari ont précisément ce diamètre.

D'ailleurs, la condamnation des puits de grand diamètre était déjà prononcée par Dupuit qui, après avoir traduit en forme algébrique une série de considérations et de raisonnements, et établi une formule pour le calcul du débit, observe que le débit total Q du puits sera proportionnel à la charge H sur son orifice et dépendra fort peu de son diamètre. Se basant ensuite sur les résultats du fonçage de Passy, il démontre que, passant de 0,25 à 0,50*m*, c'est-à-dire en doublant le diamètre du puits, son débit n'aurait augmenté que de 8 0/0.

C'est ainsi que l'ingénieur Carli, considérant les faits exposés ci-dessus, a exclu de son projet les puits de grand diamètre. Restait à décider entre les puits forés et les tubes Northon, dont douze avaient servi aux essais de délit, d'autant plus qu'il s'agissait de 25 à 30 *m* de profondeur.

La continuelle percussion du tube Northon, lorsqu'on l'enfonce, remue et désagrège les terrains, comme l'a fait remarquer M. Lavezzari, de telle sorte que quand le tube atteint et pénètre dans la couche aquifère, les eaux cheminent le long de la paroi extérieure, compromettant facilement tout le travail. Il est aussi un autre inconvénient de ce système qui ne permet pas de savoir avec précision lorsqu'on atteint la couche aquifère, et offre le danger de traverser celle-ci complètement. Tandis qu'avec les puits forés, la tarière étant toujours en avance sur le tube dans la descente, les stratifications sont explorées avant que le tube les ait atteintes. Un autre avantage des puits forés, c'est qu'en cas d'arrêt des eaux, on a toujours dans la tarière un moyen d'y réintégrer le jet.

Les puits forés à Vicence sont au nombre de trente-deux, disposés en quinconces à 5 *m* de distance l'un de l'autre, lesquels, avec les douze tubes Northon, donnent 55 *l* par seconde. Les puits ont 0,08*m* et les tubes Northon 0,04*m* de diamètre.

La partie traitant de la force hydraulique est une étude pour l'élévation des eaux et l'illumination de la ville de Vicence par l'électricité.

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

SUR LA TRADUCTION

DES MÉCANIQUES DE HÉRON D'ALEXANDRIE

DE

M. le baron CARRA DE VAUX

PAR

L. DE LONGRAIRE

Les études relatives à l'histoire des sciences sont en grand honneur à l'époque actuelle; les travaux de M. Marcelin Berthelot sur l'alchimie, ceux de M. Paul Tannery sur les mathématiques de l'ancienne Grèce, le montrent suffisamment.

On n'est donc plus obligé de motiver, comme autrefois, un travail historique qu'on présente au public et de s'excuser pour ainsi dire, s'il n'ajoute rien de nouveau à nos connaissances, sauf une meilleure et plus saine compréhension du passé. Aussi, l'on accueillera certainement de la manière la plus favorable la publication, depuis longtemps désirée par les érudits, d'un ouvrage grec rédigé vers l'origine de notre ère, parce qu'elle vient combler, dans les documents que nous possédons déjà, une lacune regrettable.

M. le baron Carra de Vaux, membre de la Société asiatique, a fait paraître en effet, tout récemment, une traduction française, la première en une langue européenne moderne, de l'ouvrage intitulé « *Les Mécaniques ou l'Élévateur de Héron d'Alexandrie* », c'est-à-dire d'un auteur qui a laissé un grand renom parmi ceux qui ont illustré cette cité.

I. — Les ouvrages de Héron d'Alexandrie.

On connaissait jusqu'ici les ouvrages grecs suivants, portant le nom de Héron, et mis à la portée du public par des traductions, ainsi que des extraits ou résumés divers sur l'arithmétique et la géométrie.

1° Le plus connu et le plus important de ces ouvrages a pour titre *Pneumatika :* c'est un recueil où sont décrits des appareils basés sur le siphon, l'élasticité de l'air et sa dilatation par la

chaleur, des machines comme des pompes, et enfin des ustensiles tels que des lampes

Commandino (Federico), auteur italien d'Urbino, qui vivait de 1509 à 1575, l'a traduit en latin pour la première fois sous le titre latin de *Spiritalia*, et son gendre Spacioli (Valerio) l'a publié l'année de sa mort.

2° Un autre manuscrit : *Automatika*, traite des machines automatiques ou se mouvant elles-mêmes, mobiles et stables. L'abbé Baldi (Bernardino), qui vivait de 1553 à 1617, l'a traduit et publié *en italien* en 1589.

3° Le même abbé Baldi a fait paraître en 1616 la traduction *latine* d'un autre livre intitulé *Belopœeka* ou l'*art de fabriquer les armes de jet*.

Les traductions latines de Commandino et de l'abbé Baldi pour les *pneumatiques* et les *armes de jet ;* une autre, latine aussi, des *automates* faite expressément, se trouvent dans un magnifique in-folio de 0,43 *m* × 0,28 *m* publié en 1693 par l'Imprimerie Royale de France, sous la direction du Bibliothécaire du Roi, Thévenot Melchissédech (1620-1692). Il est intitulé : *Veterum Mathematicorum Opera*, car il y a les traductions d'autres auteurs, Athénée, que nous retrouverons plus loin, Biton, Apollodore, etc.

4° A.-J.-H. Vincent, membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres (1797-1868) a publié en 1858, dans le tome 19 des Notices et Extraits des manuscrits de la Bibliothèque Impériale, des *Extraits des manuscrits relatifs à la géométrie pratique des Grecs*. Il s'y trouve un *Traité de la Dioptre de Héron d'Alexandrie*, jusqu'alors inédit : le texte grec est reproduit avec la traduction française en regard.

Les Grecs appelaient d'une manière générale *Dioptra* l'instrument servant à viser de manière à relever des directions de ligne droite ou des angles. Il s'agit donc d'un traité de levé des plans.

Ces quatre ouvrages sont fort intéressants parce qu'ils correspondent aux dispositions réellement employées au temps où ils ont été écrits, et qu'ils proviennent d'un praticien faisant connaître les instruments et les théories qu'il utilisait avec ses contemporains.

On trouve ce qui reste de l'arithmétique et de la géométrie de Héron, dans l'ouvrage suivant : *Heronis Alexandrini geometricorum et stereometricorum reliquiæ*. Ed.-F. Hultsch. Berlin, 1864.

Les parties les plus saillantes de cet ouvrage ont été examinées

par M. Paul Tannery qui, depuis vingt ans environ, étudie l'histoire des mathématiques grecques et qui a publié de nombreux travaux dans les *Mémoires de la Société des Sciences physiques et naturelles de Bordeaux*, où j'ai compté dix-huit notes dans les 2e et 3e séries de 1875 à 1889 ; maintenant c'est surtout dans la *Bibliothèque de l'École des Hautes Études (Bulletin des Sciences mathématiques et astronomiques)* qu'il insère ses travaux dont une partie a été réunie dans la *Géométrie grecque* (Paris, Gauthier-Villars, 1887) (1).

M. Paul Tannery s'est ainsi formé une sorte de domaine qu'il explore de la manière la plus attachante et la plus remarquable. Il s'est occupé plusieurs fois de l'ouvrage indiqué ci-dessus; pour donner une idée de la façon dont il l'a étudié, il suffit de dire qu'il s'est exercé à calculer avec les lettres grecques, représentant les divers nombres; il a été surpris de découvrir des avantages pratiques qu'il ne soupçonnait guère dans ce mode de faire et n'a pas trouvé de différence de temps entre les calculs faits avec les lettres grecques et les chiffres modernes (Voir l'*Arithmétique des Grecs dans Héron d'Alexandrie :* mémoires de la Société de Bordeaux, 2me série, tome IV, 1881). Ce serait sortir du cadre de cette notice que de m'étendre sur les remarques de M. Paul Tannery ; je me bornerai à dire que Héron, dans ses écrits sur l'arithmétique et la géométrie, est resté toujours préoccupé des applications pratiques, de sorte que ses œuvres réunies forment une sorte d'encyclopédie des sciences usuelles de son temps.

Vincent remarque (note de la page 163) que le nom de Héron n'est pas grec, et qu'il a, en égyptien, une signification qui revient à celle d'Ingénieur. Nous pouvons donc le revendiquer comme un véritable Ingénieur civil de son époque, c'est-à-dire un de nos collègues. S'il est Égyptien, il a participé d'une façon complète à la haute culture hellénique, comme nous le verrons plus loin, et la langue dont il se servait doit le faire classer parmi les auteurs grecs.

Le dernier § du *Traité de la Dioptra* (page 331) se rapporte au problème suivant : *Avec une force donnée faire mouvoir un poids donné au moyen d'un système de roues dentées*. Cette question n'a aucune relation avec la Dioptra, et se trouve là comme égarée après toutes les précédentes : mais on voit facilement qu'elle faisait partie d'un ouvrage de Héron sur l'*Élévation des corps graves*, dont

(1) M. P. Tannery a aussi rédigé d'excellentes biographies de savants anciens dans la *Grande Encyclopédie* de Lamirault et Cie, actuellement en cours de publication. J'ai utilisé celles qui sont parues, pour la présente notice.

parlait notamment un mathématicien Pappus qui reproduisait ce même problème, dans un passage de ses œuvres, traduit également par Vincent.

D'autre part, Th.-H. Martin (1813-1884) avait publié dans les mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Inscriptions en 1854, un travail tout à fait magistral intitulé : *Recherches sur la vie et les ouvrages de Héron d'Alexandrie ;* il signalait certaines bibliothèques de Venise et de Rome où devaient se trouver les manuscrits grecs contenant cet ouvrage ainsi qu'un autre intitulé *les Mécaniques;* la bibliothèque de Leyde contenait certainement une traduction arabe de ces mêmes ouvrages, rapportée d'Orient par le hollandais Golius (de La Haye) qui vivait de 1596 à 1667. Th.-A. Martin insistait sur l'importance qu'il y avait à publier le tout ; car les extraits connus faisaient présager une œuvre d'un réel intérêt.

M. le baron Carra de Vaux s'est emparé de cette question. Il s'est rendu à Venise et il a trouvé à la bibliothèque de Saint-Marc un manuscrit de Héron correspondant aux indications données, de manière à éviter toute incertitude sur son identification, seulement il contenait les *Pneumatiques :* c'est là une mésaventure qui arrive aux chercheurs, de temps à autre. A Rome, malgré toute l'obligeance et la bonne volonté qu'on y mit, les manuscrits signalés ont été introuvables.

Il a donc fallu recourir à la traduction arabe de Leyde ; heureusement M. de Vaux connaît cette langue ; il est ancien élève de l'École polytechnique, ce qui lui donne une compétence incontestable pour tout ce qui concerne les sciences mathématiques et physiques. On lui communiqua le précieux manuscrit concernant les *Mécaniques* et l'*Élévateur*, et il en est résulté la traduction parue d'abord dans les numéros de mai à décembre 1893 du *Journal asiatique*, puis réunie en mars dernier en un volume que M. de Vaux a offert à notre Société et dont je l'ai entretenue dans la séance du 4 mai dernier.

Les Arabes, pour s'initier aux sciences de la Grèce, ont eu généralement recours aux traductions syriaques, mais le manuscrit de Leyde est une traduction directe du grec en arabe faite par un savant qui prit part au mouvement scientifique et littéraire provoqué par les Abbassides : il s'appelait Qostã-ibn-Luqã, c'est-à-dire Constantius fils de Luca ; il était chrétien et malgré cela, quand il mourut, M. de Vaux nous dit qu'on éleva sur son tombeau une qubbeh (voûte), monument semblable à ceux qu'on con-

sacre en Algérie aux marabouts (ascètes), ce qui est un témoignage de vénération réservé d'ordinaire aux princes et aux saints docteurs; cela fut en même temps un bien bel exemple de la tolérance pratiquée alors par les Musulmans. La traduction de Qostã fut faite sur la demande du Khalife de Bagdad, Almustaïn-Billah (celui qui demande le secours de Dieu) qui occupa le trône un peu plus de trois ans, de 862 à 866 et descendait du fameux Haroun-al-Raschid ou Harûn-Arrachid (Haron le juste) (1).

Le manuscrit de Leyde est une copie de cette traduction portant la date de 849 (1445 de notre ère) : il n'est pas dans un état parfait de conservation; divers passages sont obscurs et d'une traduction difficile; pourtant l'ensemble de l'ouvrage n'en souffre point.

La lecture suivie et attentive de la traduction de M. de Vaux, ainsi que les remarques faites au sujet des passages difficiles dont je viens de parler, montrent la consciencieuse exactitude avec laquelle elle a été faite.

Le livre de M. de Vaux contient d'abord la traduction française, puis le texte arabe; mais les Musulmans ont des habitudes inverses des nôtres; ils lisent et écrivent à rebours de nous, et commencent à la page où nous finissons : la couverture porte donc à la fois les deux titres et les deux parties se poursuivent en marchant l'une vers l'autre, pour se réunir à leurs dernières pages, qui sont voisines.

J'ai prié M. de Vaux de me traduire le titre arabe que je reproduis ci-dessous; il a été rédigé suivant les traditions dont il n'est pas permis de s'affranchir quand on écrit en cette langue :

LIVRE DE HÉRON
SUR L'ÉLÉVATION DES CORPS LOURDS
QU'A FAIT PASSER DE LA LANGUE GRECQUE
A LA LANGUE ARABE
QOSTÃ IBN LUQÃ DE BALBECK
ET A PRIS SOIN DE LE METTRE EN BON ÉTAT (DE L'ÉDITER)
LE SERVITEUR, LE PAUVRE EN LA MISÉRICORDE DE SON SEIGNEUR
LE BARON CARRA DE VAUX.
IL A ÉTÉ IMPRIMÉ DANS LA VILLE DE PARIS
A L'IMPRIMERIE NATIONALE
L'AN 1894 DU MESSIE.

(1) On sait que les noms arabes, turcs ou persans ont le plus souvent une signification. Ainsi le nom du Sultan, actuellement régnant, Abdul-Hamid veut dire : Le serviteur du Miséricordieux.

Il m'a semblé que le lecteur s'intéresserait à cet exemple de persistance de coutumes qui, paraît-il, auraient été un peu mitigées.

II. — Les mécaniques de Héron

Je vais maintenant examiner les matières contenues dans ce nouvel ouvrage, en signalant ce qu'il y a de remarquable ou d'inattendu, mais en comparant les idées qui s'y trouvent émises avec celles qui sont acceptées maintenant, non pas comme critiques stériles, mais pour fixer l'état des connaissances du temps où il a été rédigé et pour constater le chemin que nous avons parcouru depuis lors.

Les mécaniques se divisent en trois livres.

Le *premier* contient les roues d'engrenage, l'amplification des figures suivant un rapport donné, la poulie et la répartition des poids sur leurs divers supports.

Le début de ce livre est consacré au train d'engrenages ; mais dans sa description, il est parlé d'un exposé précédent des cinq machines simples, de sorte que ce ne peut être le premier problème étudié par Héron. De plus, il se trouve à la suite une phrase obscure traduite ainsi : « Ici il y a une lacune dans le grec. Cela a été écrit dans l'hypothèse qu'il doit en être ainsi ». Il en résulte que cette description a été rapportée en tête d'un manuscrit acéphale, comme le fait remarquer M. de Vaux (note p. 42).

Ce qui est plus curieux encore, c'est que ces engrenages font de nouveau l'objet du § 21 du deuxième livre, page 128, où se trouve leur place logique.

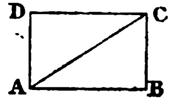
En outre, nous les connaissons déjà par le dernier § du *Traité de la Dioptra* et par les indications de Pappus, de sorte que nous en possédons quatre descriptions : nous les examinerons quand nous serons arrivés au § 21 ci-dessus désigné.

On passe ensuite à un autre ordre d'idées avec le lemme, pour ainsi dire obligatoire chez les anciens, dont voici l'énoncé : *Si deux cercles égaux engrènent l'un avec l'autre au moyen de dents, l'un accomplit sa rotation à droite dans le même temps que l'autre accomplit la sienne à gauche. S'ils sont inégaux, le petit tourne plusieurs fois, tandis que l'autre fait un seul tour ; le nombre de tours du petit dépend de sa grandeur.*

On remarquera ces propositions qui se réduisent à un simple *truism*, ce qui dénote l'enfance de la science. Nous ne nous arrêtons plus à si peu de chose ; nous voulons qu'on nous indique im-

médiatement les relations mathématiques que l'expérience fait constater : mais ces mêmes énoncés ont eu pourtant la grande utilité de servir à ébaucher une théorie des mouvements relatifs des cercles tangents, laquelle se poursuit dans les § numérotés de 2 à 7.

Le § 8 mérite notre attention : il s'agit de montrer qu'*un même point peut décrire à la fois des lignes d'inégale longueur*. Soit un rectangle ABCD et AC sa diagonale. Le point A parcourt d'une marche régulière la ligne AB, et cette ligne AB se transporte parallèlement à elle-même, d'un mouvement régulier, sur AD et BC. Enfin, le *temps* dans lequel le point A vient en B est égal à *celui* que met la ligne AB pour venir en DC ; il s'agit de prouver que *dans le même temps* le point A arrive en C, après avoir décrit deux lignes d'inégale longueur.



Ce théorème n'est rien moins que celui du *parallélogramme des mouvements*, ce que l'on ne pouvait s'attendre à trouver chez Héron : il ne paraît pas en soupçonner la grande importance et n'en fait aucun usage. J'ai déjà rencontré dans mes recherches des exemples semblables d'observations ou de propositions, très fécondes en conséquences, simplement mentionnées lors de leur découverte, puis complètement délaissées pendant des périodes parfois très longues, jusqu'à ce qu'un esprit convenablement préparé reprenne cette semence pour la faire fructifier.

« Parlons maintenant, dit Héron, § 9, p. 51, de la manière dont nous augmentons ou nous diminuons les figures planes et solides dans un rapport donné, afin que nous puissions savoir, par exemple, ce que devient une coudée lorsqu'on amplifie ces figures selon un certain rapport. » Il semble qu'il s'agisse d'une sorte de changement d'échelle, mais l'idée de Héron est tout autre. En qualité de Grec, d'adoption sinon de race, il s'est passionné, lui aussi, pour le problème qui a préoccupé la Grèce entière, celui de la duplication du cube.

Il convient, à ce sujet, de rappeler la légende suivante, dont parle Vitruve dans le livre IX, et pour laquelle je me sers aussi du dictionnaire des sciences mathématiques de Montferrier.

La peste régnait dans l'île de Délos ; on va demander à l'oracle d'Apollon quelle mesure prendre pour la faire cesser. L'oracle répond de doubler l'autel qui avait une forme cubique. On fait un autel nouveau avec des côtés doubles ; l'épidémie continue. De là, nouvelle consultation de l'oracle qui répond que l'autel n'est

pas doublé. On comprend alors qu'il s'agit de son volume et que la duplication de ses côtés l'a rendu huit fois plus grand au lieu de deux fois seulement. Cela revenait à résoudre l'équation $2C^3 = x^3$, où C est le côté de l'autel ancien et x celui du nouveau. Cette question de la duplication du cube prit le nom de *problème de Délos*.

Toute la Grèce savante se met à chercher la solution : elles abondent avec le temps et de toutes sortes. Hippocrate de Chios, selon les uns, Platon, suivant les autres, ramène d'abord la question à la recherche de deux moyennes proportionnelles. On cherche à la résoudre en se servant seulement de la règle et du compas. Platon y arrive, *en quelque sorte*, au moyen d'une construction géométrique curieuse : Héron le suit dans cette voie ; il en indique une autre dans le § 11 de sa mécanique. Bien plus tard, notre Descartes donne une variante de la méthode de Platon.

Ces trois solutions sont évidemment fondées sur une sorte de trompe-l'œil ; car il s'agit d'un problème du troisième degré qui, *a priori*, ne peut être résolu par la méthode réservée au deuxième degré ; les lignes destinées à donner la solution sont, en effet, construites, ainsi que nous allons le voir, au moyen de *tâtonnements*.

Héron parle d'abord d'une surface rendue, au préalable, équivalente à un carré dont le côté est C, et qu'il s'agit de multiplier par un nombre entier ou fractionnaire K. Une moyenne proportionnelle entre C et KC donnera le côté cherché x, car on aura

$$C : x :: x : KC \quad \text{d'où} \quad x^2 = KC^2.$$

Héron passe ensuite au problème semblable pour les solides.

Établissons au préalable comment les deux moyennes proportionnelles de Platon ou d'Hippocrate de Chios résolvent la question.

Soit K le rapport entier ou fractionnaire entre les solides ;

C le côté du cube équivalent au solide donné.

Les deux moyennes seront données par la relation suivante :

$C = \frac{x}{C} = \frac{K}{x}$, qui forme la progression géométrique suivante $\div C : x : K$ dont la raison est C, par suite $x = C^2$, $K = C^3$ et $x = C\sqrt[3]{K}$ ou bien $x^3 = KC^3$.

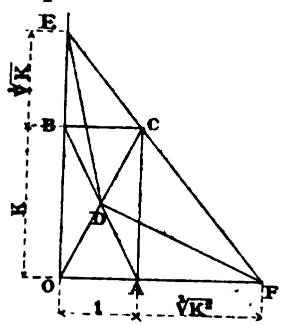
La méthode que Héron indique pour trouver les deux moyennes suppose connue la relation suivante : soit un triangle ABC dont nous désignerons les côtés, comme d'habitude, par a, b, c : soit CB > CA. Menons la ligne CD telle que AC = CD et appelons d la longueur DB

Héron écrit $\overline{BC}^2 = \overline{AC}^2 + AB \times DB$ ou autrement $a^2 = b^2 + cd$.

La démonstration est immédiate en recourant à la formule connue $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A = b^2 + c\,(c - 2b \cos A)$, car on a $d = c - 2b \cos A$.

Voici comment Héron utilise cette relation :

Soient deux axes rectangulaires OF et OE ; prenons $OB = K$ et $OA = 1$. Construisons le rectangle OACB, et ses diagonales qui se coupent en C ; faisons tourner une droite EF autour de C, et amenons-la, *par tâtonnement*, dans une position telle que les lignes DE et DF soient d'égale longueur. On a, d'après le lemme précédent, $\overline{DF}^2 = \overline{OD}^2 + OF \times AF$ et $\overline{DE}^2 = \overline{OD}^2 + DE \times BE$. Puisque $DF = DE$, on aura $OF \times AF = OE \times BE$, ou $\frac{OE}{OF} = \frac{AF}{BE}$; mais il existe trois triangles semblables qui donnent :



$$\frac{OE}{OF} = \frac{BE}{1} = \frac{K}{AF} \text{ d'où } BE = \frac{K}{AF} = \frac{AF}{BF}.$$

Pour Héron, le problème est résolu, puisqu'on a les deux moyennes proportionnelles, mais nous sommes maintenant plus exigeants, et nous estimons qu'il y a quelques mots à ajouter.

La double relation finale donne en effet : $\overline{BE}^2 = \overline{AF}^2 = K \times BE$, d'où : $BE = \sqrt[3]{K}$, $AF = \sqrt[3]{K^2}$ et $\frac{AF}{BE} = \sqrt[3]{K} = BE$.

Il s'ensuit que la solution de la question est donnée par la relation $x = BE \times C = C\sqrt[3]{K}$. L'épure donne seulement le rapport entre x et C.

Pour la duplication du cube, on a $BE = 1{,}26$ et $AF = 1{,}587 = \overline{1.26}^2$.

Si nous voulons savoir à quelle solution analytique se rapporte cette construction de Héron, nous le trouverons dans l'extrait suivant de l'article intitulé : *Eutocius et ses contemporains*, de M. Paul Tannery (*Bull. des Sciences math. et astr.*, 2e série, t. VIII, 1884).

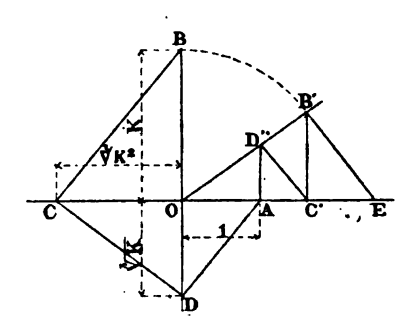
Eutocius, dit-il, « donne trois solutions du problème de Délos qui sont très voisines, sous les noms d'Apollonius, de Héron et de Philon de Byzance ».

» L'intersection du cercle $x^2 + y^2 = ax + by$ et de l'hyperbole $xy = ab$, donne les moyennes proportionnelles $x = \sqrt[3]{ab^2}$, $y = \sqrt[3]{a^2b}$. Ce doit être là le résultat analytique obtenu par Apollonius, si

l'on s'en rapport à Pappus ; maintenant, pour éviter la construction de l'hyperbole, on peut se servir d'une de ses propriétés bien connues et faire mouvoir une règle passant par le point ($x=a$, $y=b$) commun au cercle et a l'hyperbole, jusqu'à ce que les segments de cette règle, interceptés de part et d'autre entre le cercle et les axes coordonnés, soient égaux : c'est la solution de Philon et d'Apollonius, d'après Parménion ; on peut aussi faire mouvoir la règle jusqu'à ce que ses intersections avec les axes soient à égale distance du centre du cercle : c'est la solution de Héron et d'Apollonius, d'après Eutocius. »

En adoptant nos notations nous aurons $a=1$, $b=K$, et, par suite, $x=\sqrt[3]{K^2}$ et $y=\sqrt[3]{K}$.

Examinons maintenant les solutions de Platon et de Descartes.



Platon prescrit de tracer deux axes rectangulaires CA et BD se rencontrant en O, de prendre OA = 1, OB = K ; puis de mener par B une ligne BC ; au point C, de tracer CD qui lui soit perpendiculaire, et d'en faire autant en D. Si cette dernière ligne passe par le point A, le problème est résolu ; si elle s'en écarte, on modifie la direction de BC et, *par tâtonnements*, on arrive au résultat voulu.

On a évidemment : $\frac{OB}{OC}=\frac{OC}{OD}=\frac{OD}{OA}$ donc $OD=\sqrt[3]{K}$; et d'une manière générale $x=OD\times C$.

On voit que ce procédé est le même que celui adopté actuellement dans le calcul graphique pour l'élévation aux puissances, et qu'il convient d'en attribuer l'invention à Platon, sous la réserve qu'il ne l'a appliqué qu'au cube, sans parler de sa généralisation.

Descartes a donné une autre méthode en se rendant compte de son application à des puissances quelconques.

Soit la ligne OC′ sur laquelle on prend OA $=1$; on mène OB′ suivant une direction quelconque ; puis AD′ perpendiculaire à OA en A, — D′C′ perpendiculaire à OD′ en D′, — C′B′ perpendiculaire à OC′ en C′ — et ainsi de suite, on a évidemment : $\overline{OD'}^2=OC'$: $\overline{OD'}^3=OB'$, et $\overline{OD'}^4=OE$ et ainsi de suite.

Pour trouver x tel que $x^3=KC^3$, il faudra prendre une sorte de

compas à deux branches dont l'axe sera en O, rendre fixe la branche OC′, y mesurer $OA = 1$, puis $OB' = K$ sur l'autre branche, et *par tâtonnement* faire en sorte qu'en menant AD′, D′C′ et la verticale passant par C′, cette dernière rencontre OB′ précisément en B′. On aura $\overline{OD'}^3 = OB'$ et $x = OD' \times C$.

Platon et Descartes faisaient donc du calcul graphique sans le savoir ; leurs méthodes sont remarquables et dignes de leur grand esprit, mais celle de Héron a eu une originalité toute spéciale.

Disons donc maintenant quelques mots des autres solutions, en utilisant les renseignements donnés par M. Paul Tannery dans son travail intitulé : *Sur les solutions du problème de Délos, par Archytas et par Eudoxe* (Mémoires de la Soc. des sciences de Bordeaux, 2e série, tome II, 1878).

La solution d'Archytas paraît la plus ancienne de toutes.

Archytas de Tarente (430-348 environ av. J.-C.), était un philosophe pythagoricien, contemporain et ami de Platon, à qui on attribue la vis, la poulie et le cerf-volant. Il imagina une courbe décrite par un mouvement particulier sur la surface d'un cylindre droit rencontrée par la surface d'un cône; la situation spéciale de ce cône donnait l'une des moyennes. Cette solution peut se représenter en géométrie analytique par l'intersection de trois surfaces, le cylindre, le tore et le cône : elle était donc loin d'être simple.

Eudoxe (*Eudoxos* en grec) de Cnide, géomètre et astronome (408-355 av. J.-C.), a donné une solution qu'Eutocius d'Ascalon, géomètre du VIe siècle après J.-C., traite d'absurde dans son commentaire sur le traité d'Archimède concernant la sphère et le cylindre; M. P. Tannery n'admet pas cette appréciation, à cause de la valeur d'Eudoxe qu'il a rencontré dans ses études sur l'astronomie ancienne, et qu'il considère comme un homme remarquable.

Eudoxe était disciple d'Archytas et il a dû chercher à ramener à une construction plane celle de son maître, laquelle se faisait dans l'espace.

M. P. Tannery, en suivant cette idée, arrive à une construction géométrique élégante qui très vraisemblablement a dû être celle d'Eudoxe.

Il convient d'indiquer ensuite la solution donnée par Dioclès, qui vivait au VIe siècle après J.-C., au moyen d'une *cissoïde*, courbe du troisième degré, que Newton a enseigné à décrire, par un mouvement continu.

Enfin, la *conchoïde* de Nicomède a été aussi découverte à pro-

pos du problème de Délos, c'est une équation du quatrième degré.

Terminons en disant qu'on cite encore les solutions données par Menechme, Aristée et Dinostrate.

Telle est l'histoire étrange et surtout typique quant à l'esprit grec, du fameux problème de Délos, qui se réduisait en définitive à trouver la racine cubique d'un nombre donné et en particulier du nombre 2. Actuellement, nous extrayons ces racines par la méthode donnée en arithmétique, ou préférablement, nous les obtenons en prenant un aide-mémoire qui nous les donne par une simple lecture : pour la racine de 2, nous avons 1,259 921 0 avec sept décimales. Cela ne saurait se comparer avec les tours de force mathématiques auxquels les Grecs ont eu recours ; mais il faut reconnaître qu'ils ont fait preuve, dans leurs solutions si diverses, d'une ingéniosité tout à fait extraordinaire, et qu'elles les ont conduits à des résultats remarquables. Comment n'ont-ils pas songé, toutefois, à chercher notre méthode arithmétique pour extraire les racines cubiques, eux à qui Héron lui-même, dans ses écrits mathématiques, enseignait le moyen d'extraire la racine carrée avec une assez grande approximation ?

Dans le § 20, Héron fait observer qu'on pense généralement que les fardeaux placés à terre ne peuvent être mis en mouvement que par une puissance qui leur est équivalente : les poids qui ont une telle position peuvent être, d'après lui, *mus par une force moindre que toute force donnée.* La preuve consiste à dire qu'il suffit d'incliner le plan sur lequel se trouve le poids considéré — dans un sens ou dans l'autre ; alors le poids penche par l'effet de la pesanteur qui le fait partir d'un côté ou de l'autre : il n'a donc pour entrer en mouvement que la puissance très petite capable de soulever le plan. Tout cela est erroné ; Héron a été trompé par des considérations abstraites, s'écartant des données pratiques qui lui servent ordinairement. Il aurait pu s'en convaincre s'il avait fait la moindre expérience pour vérifier sa proposition. Cela ne l'empêche pas de dire dans le paragraphe suivant, mais alors sans se tromper : *l'expérience, qui est la meilleure éducatrice*, a appris à se servir de rouleaux ne touchant le sol que par une étroite ligne de contact, ce qui réduit le frottement autant que possible ; on se sert aussi d'un plancher raboté et rendu bien lisse avec du suif. Les poids sont alors mus par une force très faible.

Quand il s'agit d'élever un poids, au lieu de le mouvoir simplement, il faut une force qui lui soit égale, comme on le voit en

employant *la poulie,* qui est *en équilibre* avec deux poids égaux suspendus à chaque brin. Lorsque l'un d'eux reçoit un accroissement, si faible qu'il soit, l'autre poids est mis en mouvement, *abstraction faite du frottement* qui survient dans la rotation de l'instrument, *et de la rigidité dans les cordes*, qui font obstacle au mouvement. Cette restriction est tout à fait remarquable, et ne serait pas mieux dite actuellement.

Héron examine ensuite ce qui se passe quand un cylindre est posé sur un plan incliné qu'il s'agit de lui faire gravir : il cherche la puissance *appliquée de l'autre côté,* qui fera équilibre à la fraction du poids du cylindre tendant à le faire descendre; mais comme il ne connaît pas le parallélogramme des forces, la détermination de cette fraction est erronée.

Tout cela est curieux : car on y voit le début des considérations d'équilibre si chères à tous les géomètres jusqu'en 1830, où la prédominance de la statique sur la dynamique a été définitivement condamnée, grâce aux efforts de Poncelet, Coriolis, Bélanger et enfin de Barré de Saint-Venant.

Des considérations abstraites sur la pesanteur et le centre de gravité forment ensuite, dans le § 24, p. 73, l'introduction d'une étude relative à la répartition des charges sur des colonnes également ou inégalement espacées.

Malheureusement, la rédaction de ce paragraphe paraît avoir subi des altérations nombreuses. Archimède y est cité ainsi qu'un auteur d'un nom douteux qui paraît être le philosophe grec Poseidonios (en latin Posidonius). Archimède connaissait la composition des forces parallèles par une expérience où il prenait un fléau de balance soutenu en son milieu et partagé de chaque côté en parties égales et symétriques. Des poids égaux placés à égale distance du support constituaient l'équilibre; quand les distances étaient inégales, il fallait pour l'équilibre que les poids fussent en raison inverse des distances.

Héron applique ces principes à des colonnes supportant des poutres transversales ou une paroi, ou encore à une longue poutre continue portée par des hommes espacés sur sa longueur. Mais la théorie des forces parallèles ne suffit pas pour la solution d'une telle question; il faut y introduire celle de l'élasticité et le théorème des moments sur trois appuis voisins découvert seulement vers 1850. Les anciens ne pouvaient se douter de leur existence. Héron répartit les charges comme si la poutre était fragmentée à chaque appui, ce qui est inexact.

Le *Deuxième Livre* traite des machines simples, qui sont pour Héron au nombre de cinq, savoir : le treuil, le levier, la moufle, le coin et la vis.

Il explique les trois premières au moyen de sa théorie des forces parallèles, bien que cette théorie ne soit applicable au levier que dans des cas particuliers. L'effet du coin résulte de la constatation de son enfoncement et la vis est présentée très ingénieusement comme un coin affectant une courbure circulaire.

Après avoir parlé de ces machines simples, il aborde leurs combinaisons — parmi lesquelles se trouve logiquement le treuil mû par des engrenages; dans le § 21, page 128, il se propose d'élever un poids de 1 000 talents suspendu à un treuil, avec une puissance motrice de 5 talents, soit un rapport égal à 200 entre le poids et la puissance. Il y arrive en prenant d'abord une roue d'un diamètre cinq fois plus grand que celui du treuil où s'enroule la corde supportant le poids. Il la fait engrener avec un pignon porté sur un deuxième arbre ayant reçu une roue d'un diamètre cinq fois plus grand que le pignon; cette roue engrène de nouveau avec un pignon placé sur un troisième arbre, qui reçoit un tambour d'un diamètre égal à huit fois celui du pignon, de sorte que le rapport entre la résistance et la puissance sera égal à $5 \times 5 \times 8 = 200$.

Pour que la puissance l'emporte sur le poids, Héron recommande de faire le dernier tambour plus grand ou le pignon plus petit que ne l'indique le calcul.

Examinons s'il existe quelque différence entre cette solution et celle du début des mécaniques dont nous avons déjà parlé, ou bien encore avec celles du *Traité de la Dioptra* et de l'extrait de Pappus.

Dans le train du début, nous avons quatre arbres au lieu de trois, avec les rapports $5 \times 5 \times 5 \times 2 = 250$; nous avons donc 50 en trop, soit $\frac{1}{5}$. Une force de 4 talents suffirait au lieu de cinq; le talent en excès servira « à vaincre la résistance que peut présenter te train. » On en peut douter eu égard aux quatre axes et aux six roues du système.

Le *Traité de la Dioptra* parle aussi d'un système avec quatre arbres, donnant l'accroissement $5 \times 5 \times 5 \times \frac{8}{5} = 200$. Il y a égalité comme ci-dessus; mais, au lieu d'augmenter le dernier tambour, il est indiqué d'établir en contact avec la dernière roue et sur un

cinquième arbre une vis dont le filet engrène avec les dents de cette roue, ce cinquième arbre recevant en outre une manivelle d'un rayon naturellement plus grand que la vis : alors la manivelle entraînera le poids, « car nous avons ajouté le plus grand circuit de la manivelle par rapport à la vis et l'on sait que, pour des rotations égales, les plus grands cercles l'emportent sur les plus petits. »

Pappus reproduit cette disposition avec vis et manivelle.

Ces deux variantes dans la disposition du train d'engrenage sont à noter; elles peuvent provenir de Héron lui-même; mais il est également possible qu'elles soient des modifications introduites par les successeurs de Héron, qui auraient altéré le texte primitif.

Dans le § 22, Héron dit à propos de ces engrenages : « Cet instrument et toutes les machines de grande force qui lui ressemblent sont lents, parce que plus est faible la puissance comparée au poids très lourd qu'elle meut, plus est long le temps que demande le travail. Il y a un même rapport entre la puissance et les temps. »

Héron ajoute dans le § 32, p. 142, que *si tous les organes d'une machine étaient parfaitement rabotés et lisses, taillés dans une matière homogène et avec des dimensions parfaitement exactes*, les machines pourraient être employées avec les rapports qu'il a indiqués; mais, comme les pièces ne sont pas exécutées avec une absolue perfection, on est forcé d'ajouter un excès de puissance pour les frottements, en prenant des rapports un peu supérieurs.

Cette remarque, très juste, est pourtant incomplète pour nous qui savons que la perfection des organes, si elle réduit considérablement les frottements, ne saurait les annuler.

Notons ici que les machines simples actuellement considérées en mécanique sont à très peu près les mêmes que celles de Héron; on débute en effet par *le levier*, puis on examine *la poulie* fixe ou mobile et les mouffles qui en dérivent ; on passe *au treuil* pour considérer *le plan incliné, le coin* et *la vis.*

La recherche des causes des phénomènes mécaniques et de la réduction de ces phénomènes à des principes simples, imprime, comme le dit M. de Vaux, un cachet de grandeur aux ouvrages où l'on trouve cette recherche ; mais elle est contenue dans les limites du savoir humain à chaque époque, et il faut reconnaître que les anciens, avec leurs connaissances si peu étendues, basaient

leur science sur des principes qui sont faits pour exciter notre étonnement.

Héron, avec son esprit hellénique et son éducation aristotélicienne, ne manque donc pas de recommander à ses collègues de s'enquérir des causes qui agissent dans chaque mouvement, de chercher à les mettre au jour, et de les rapporter à une vérité connue auparavant (§ 33, p. 143). Ces préceptes sont excellents et doivent encore être suivis.

Mais il énonce ensuite les principes, évidents d'ailleurs, dont il fait usage et qui sont les suivants : 1° *Le léger est mû facilement, le lourd difficilement ; 2° Un même poids est mû plus aisément par une grande que par une moindre puissance.* Nous nous trouvons une seconde fois en présence de principes qu'il est difficile de prendre au sérieux, et qui diffèrent considérablement de ceux qui nous servent actuellement.

Pour mieux le faire voir, rappelons que Newton, dans ses *Principes de la Philosophie naturelle*, publiés en 1687, a édifié ses magnifiques découvertes sur les trois lois relatives — à l'inertie de la matière — à la notion de force — et enfin à l'égalité de l'action et de la réaction.

On voit le grand progrès qui fut réalisé alors.

Franchissons deux siècles. Consultons le *Cours de Mécanique générale*, à l'École centrale, de M. Flamant, publié en 1888.

Nous y trouvons d'abord la Cinématique qui s'occupe des deux idées primordiales; *l'espace parcouru* par un point matériel en mouvement et *le temps* pendant lequel cet espace est parcouru. Ces deux quantités sont étudiées en combinant les données de l'expérience et le calcul algébrique ou graphique. Ensuite l'idée de *masse* du même point est ajoutée pour compléter les trois quantités dont s'occupe la Mécanique générale. L'inertie de la matière et l'égalité de l'action et de la réaction sont conservées, mais la force est une puissance déchue ; une nouvelle quantité, *l'Énergie mécanique*, vient prendre la première place.

Ce n'est pas tout : en dehors de cette Mécanique générale telle que nous venons de la définir, grandit une nouvelle science : *l'Énergétique*, qui englobe avec l'Énergie mécanique, celles relatives à la Chaleur, à la Lumière et l'Électricité, comme aussi celle produite par les actions chimiques.

Quelle énorme distance entre nos idées et celles que Héron empruntait à l'École d'Aristote !

Héron se pose ensuite 17 questions dont il donne les réponses : les unes et les autres sont intéressantes.

Je relève dans celle n° 13, que *pour porter un poids plus haut, il faut plus de force*, parce que, pour le porter dans un lieu plus élevé, il faut un temps plus long. J'ai déjà noté à propos des mouvements des cercles tangents du parallélogramme, des mouvements, et du train d'engrenages, *cette prépondérance du temps* dans la considération des forces ; nous en avons ici un nouvel exemple qui nous montre combien on était loin, à l'époque de Héron, de notre idée actuelle du travail mécanique.

Héron reprend ensuite la question des centres de gravité des figures, et il en donne des applications pratiques.

Le *livre III* correspond pour sa 1re partie au *Baroulkos* (en latin *Barulcum* ou encore *De oneris sublevandis*).

On y trouve décrite, avec tous ses détails, la machine pour élever les fardeaux — ayant un, deux, trois ou quatre montants, — avec une poulie simple, un treuil ou une moufle. Il y a aussi les espèces de *louves en fer* employées par les anciens pour saisir les pierres de taille. Héron, en praticien émérite et consciencieux, recommande de veiller à la bonne qualité du fer, pour empêcher que les louves ne cassent et que les pierres ne tombent, car outre le dommage, les ouvriers pourraient être atteints dans leur chute.

A ces machines, il ajoute, au § 9, *l'Appareil pour faire descendre les grosses pierres du sommet des montagnes* : c'est l'embryon de nos plans inclinés actuels. On pratique deux chemins bien unis, et l'on prend deux chariots à quatre roues, l'un en haut avec la charge à descendre, et l'autre en bas rempli de déchets de carrière, mais de manière que le poids de ce dernier soit moindre que celui de la charge : on les relie tous les deux par une corde passant sur des poulies, et l'on attelle des bêtes de trait au charriot du bas, qui est tiré par elles avec peu d'effort ; elles règlent par leur marche, la vitesse de descente de la pierre, sans qu'un frein soit nécessaire.

La description des presses usitées pour la fabrication du vin et de l'huile d'olive, avec levier ou vis, forme la *troisième partie* et termine l'ouvrage.

Les indications qui précèdent montrent la variété des sujets abordés par Héron. Elles permettent en outre de se faire une idée de son caractère.

Les philosophes anciens professaient généralement le mépris

des sciences appliquées, qui, à leur avis, devaient être laissées aux vils esclaves : ils se réservaient les sciences pures. Nous voyons que Héron semble avoir à tâche de relever son art par l'utilisation de ces mêmes sciences, et qu'il paraît entrer en lice avec les philosophes, en même temps géomètres, au sujet du problème concernant la multiplication des solides. Il n'en fait pas moins preuve, dans la grande majorité des cas, d'un esprit tout à fait pratique, et se montre soucieux de la sécurité de ses ouvriers. En un mot, il honore la profession d'Ingénieur civil dans laquelle j'ai cru pouvoir le ranger, et de toutes les observations que j'ai faites sur ses opinions, aucune ne s'adresse directement à lui ; elles portent toutes sur la philosophie d'Aristote, dont on ne peut nier la grandeur et l'utilité, au temps de son auteur, mais dont les écarts, tant avec la réalité qu'avec nos idées actuelles, sont tellement frappants qu'on ne saurait les passer sous silence.

III. — Époque où vécut Héron.

J'ai omis, à dessein, de parler jusqu'ici de l'époque où vécut Héron, car elle fait l'objet de vives controverses et réclame des éclaircissements spéciaux.

Pour mieux l'étudier, il faut commencer par connaître celui qu'on dit avoir été son précepteur, Ctésibius ; je vais donc résumer les faits qu'on connait sur ce dernier, dont on ne possède aucune biographie ni aucun ouvrage, bien qu'il en ait écrit.

Je noterai préalablement les dates suivantes qu'il faut connaître. Euclide, auteur des *Éléments de Géométrie* qu'on suit encore ou à peu près, vivait à Alexandrie sous Ptolémée Ier, fils de Lagos, surnommé Soter (le sauveur), qui régna de 323 à 285 avant J.-C. Archimède, que tout le monde connaît, vécut de 287 à 212.

Quant à Ctésibius, voici ce qu'on trouve à son sujet dans le *Traité d'architecture* de Vitruve, écrit environ dix ans avant l'ère chrétienne. Je les extrais de la traduction de Maufras (bibliothèque Panckoucke, 1847-1848), où une table alphabétique facilite grandement les recherches.

Dans le livre Ier, tome I, p. 35, Vitruve dit que l'architecte doit connaître la philosophie, car dans les conduites d'eau d'un profil accidenté, l'air pénètre de bien des façons dans les tuyaux avec l'eau elle-même : comment remédier aux désordres qu'il occasionne, si l'on n'a puisé dans la philosophie la connaissance des

lois de la nature? On ne saurait comprendre *les ouvrages de Ctésibius, d'Archimède et des autres auteurs qui ont traité de cette matière* sans y avoir été préparé par les philosophes.

Dans le livre VII, tome II, p. 115, Vitruve n'énumère pas moins de treize auteurs ayant écrit sur les machines. Voici leurs noms tels qu'il les donne : Diades, Archytas, Archimedes, *Ctesibios*, Nymphorodus, Philo Byzantius, Diphilos, Demodes, Charidas, Polyidos, Pyrrhos et Agesistratos.

Ctésibius, dit-il dans le livre IX, chapitre VIII, a découvert la première horloge à eau; il a, de plus, inventé l'utilisation des vents naturels et des choses pneumatiques (qui etiam spiritus naturales pneumaticasque res invenit).

Le chapitre VII du livre X est consacré à la machine de Ctésibius qui élève l'eau très haut. (De Ctesibica machina, quæ altissime extollit aquam.) C'est une pompe à clapet et à double cylindre dont les détails se trouvent dans l'*ouvrage de Ctésibius;* puis il est question des orgues hydrauliques (de hydraulicis organis) inventées par le même mécanicien.

Tels sont les renseignements donnés par Vitruve.

Dans les fragments que nous avons de ces ouvrages, Philo Byzantius — Philon de Byzance — que Vitruve a cité ci-dessus, raconte que Ctésibius lui a montré à Alexandrie un instrument lançant des projectiles par l'air comprimé, en ajoutant que la supériorité des mécaniciens alexandrins est due au bonheur qu'ils ont eu d'avoir des rois passionnés pour la gloire et amis des arts.

Athénée, écrivain militaire grec (Athênaios en grec, Athenæus en latin), a écrit un ouvrage sur les machines de guerre, Peri Mechanêmatôn (De Machinis) qui est inséré le premier dans les *Veteres Mathematici*, de Thévenot, dont j'ai déjà parlé. Le chapitre : *Helepolis Constructio* contient le passage suivant dans la traduction latine, page 8, ligne 18 :

« ... *Ctesibius* tamen *Ascrenus* qui in urbe Alexandria mechanicus fuit, in commentariis suis retulit qua ratione in murum sine scalis conscendi possit hujusmodi machinatione... »

Puis, à la ligne 40 de la même page, on lit aussi :

« ... Mensuras porro istorum nequaquam videtur conscripsisse Ctesibius. »

Je remarque toutefois que l'on retrouve dans le texte grec du premier passage le nom de Ktesibios, mais que je n'ai pu le constater dans le même texte grec du second passage : j'ajoute que

l'impression grecque contient beaucoup de lettres et abréviations conventionnelles qui rendent la vérification difficile.

Le Ctésibius dont il est question ci-dessus est certainement le nôtre qui, par suite, est né à Ascra, ville de Béotie.

Pline l'Ancien (C. Plinius Secundus) qui vécut de 23 à 79 après J.-C., dans son *Histoire naturelle* (Historiæ mundi), et à propos de la géométrie et de l'architecture (livre VII, 38) parle de Ctésibius, inventeur de machines pneumatiques et d'orgues hydrauliques -(Ctesibius pneumatica ratione et hydraulicis organis repertis...).

Un grammairien, Athenæus de Naucratis (Egypte), qui vivait au commencement du IIIe siècle après J.-C., a écrit le *Deipnosophistes* ou le Banquet des savants; il y donne des détails sur les écrivains anciens et dit que Ctésibius vivait du temps d'Evergète II ou Ptolémée le Ventru (Physcon) qui régna de 170 à 166 avant J.-C.

Tels sont les renseignements recueillis dans les divers auteurs sur Ctésibius.

M. H. Martin les a discutés tous, et il pense que Athenæus, le grammairien, se trompe en faisant vivre sous Evergète II notre Ctésibius, dont l'existence se serait écoulée de 126 à 51.

Passons maintenant à *Héron* qui, lui non plus, n'a pas eu de biographe.

Examinons d'abord ses ouvrages.

Ses *Pneumatiques* portent pour nom d'auteur Héron Alexandrin. Il y cite une fois Archimède.

Les *Automates* indiquent le même nom. Héron y dit qu'il ne reproduira rien de ce qu'a écrit Philon sur ce sujet. Il s'agit évidemment du Philon Byzantin.dont Vitruve a parlé.

Même nom sur le *Traité de la Dioptra*, dont nous avons déjà parlé.

Même nom aussi sur les *Mécaniques* que nous venons d'analyser. On y trouve neuf fois le nom d'Archimède et un autre nom laissant quelque incertitude, mais qui semble être Poseidonios.

Quant aux *Belopœeka*, on lit sur le titre les deux noms *Héron Ctesibios* au génitif, sans qu'ils soient reliés par un autre mot.

Passons maintenant aux écrivains qui ont parlé de Héron. Nous remarquons d'abord qu'il n'est mentionné par aucun de ceux ayant écrit avant notre ère. Il faut arriver jusqu'à un certain *Théon le Rhéteur* qui vivait au IIe ou au IIIe siècle pour lire dans l'ouvrage qu'il a laissé que *Héron fut cordonnier avant de devenir philosophe.*

Y a-t-il eu un philosophe de ce nom, qu'il faut distinguer de notre mécanicien? c'est ce que l'on ignore d'une façon complète.

Ajoutons que le nom de Héron devint assez commun après l'ère chrétienne et que Th.-H. Martin ne compte pas moins de seize à dix-huit noms semblables parmi les personnages connus dans les dix premiers siècles de notre ère.

A partir du IVe siècle, Héron entre franchement dans la postérité, et on le cite parmi les auteurs illustres.

Saint Grégoire de Nazianze, qui vivait de 328 à 389, dans son discours VII, voulant désigner les trois plus grands mathématiciens de la Grèce, cite trois noms : Euclide, Ptolémée, Héron, c'est-à-dire un mathématicien, un astronome et un mécanicien.

Pappus, célèbre géomètre d'Alexandrie, vivait sous Dioclétien vers la fin du IVe siècle ; nous avons vu qu'il a donné un extrait du Baruleum de Héron l'Alexandrin traduit par Vincent.

Ve siècle : Le philosophe Proclus vécut de 412 à 485; il était né à Constantinople et son disciple Marinus écrivit sa biographie. On y trouve que Proclus suivit à Alexandrie, pour les sciences mathématiques, les leçons de *Héron, homme pieux et qui avait une expérience accomplie des méthodes d'enseignement.* Ainsi nous devons tenir compte de l'existence d'un *Héron maître de Proclus*, qui ne parait, du reste, avoir laissé aucun écrit.

Ce Proclus fit un commentaire en quatre livres sur le livre premier des *Éléments d'Euclide;* il y parle six fois de Héron, en l'appelant deux fois Héron le Mécanicien, et il signale les petits prodiges de mécanique opérés par *Ctésibius* et *Héron* à l'aide de procédés pneumatiques : en dehors de cette dernière citation, il n'en parle que relativement à des questions de géométrie.

VIe siècle : *Eutocius d'Ascalon*, géomètre, a laissé un commentaire du *Traité d'Archimède* sur la mesure du cercle : il y renvoie aux *Metrika de Héron*, pour l'extraction approximative de la racine carrée des nombres qui ne sont pas des carrés parfaits.

Xe siècle : Un auteur de Constantinople, sur lequel on n'a aucun renseignement, a fait deux ouvrages sur lesquels on a trouvé inscrit le nom de Héron ; il est ainsi devenu *Héron III ou le Jeune :* ces deux ouvrages sont consacrés l'un à la géodésie (en grec Geodaisia) et l'autre à la poliorcétique (Poliorketika).

Th.-H. Martin, dans le travail dont j'ai déjà parlé, s'est livré à une étude attentive de ces deux traités; par des raisons très fortes et remarquablement déduites des circonstances relatées dans le

texte même, il estime que la géodésie a dû être écrite vers 938 et l'autre traité quelques années auparavant.

Ce même *Héron le Jeune* est un auteur de second ordre et d'une période de décadence. Sa géodésie est à l'usage des débutants, et il y renvoie aux traités généraux *de Héron* et *d'Archimède.*

Dans la poliorcétique, il cite *Héron le Mathématicien* à propos des armes de jet. Au chapitre XXIII, on trouve encore Héron d'Alexandrie.

Au chapitre XXIII, chose à noter, il emprunte à Athenæus une citation de *Ctésibius d'Ascra*, en ajoutant ces mots : *maître de Héron d'Alexandrie*, indication donnée pour la première fois.

Pour épuiser les faits relatifs à Héron, ajoutons que dans un ouvrage anonyme sur Constantinople, on lit ce qui suit : « Sur l'emplacement où Justinien fit reconstruire Sainte-Sophie (en 537), se trouvaient 427 statues représentant pour la plupart des dieux ou des personnages païens. Il y avait une statue d'une prêtresse de Minerve, ayant à ses côtés *Héron le philosophe occupé à prédire l'avenir.* »

Ce Héron est-il notre Ingénieur-Mécanicien? Pour notre part, nous pencherions pour la négative, préférant le voir s'occuper avec tant de bonheur des réalités concrètes, au lieu de le surprendre, pour ainsi dire, prédisant l'avenir. S'agirait-il, par hasard, du philosophe que visait Théon le Rhéteur?

L'indication donnée par Héron le Jeune, d'après laquelle Héron le Mécanicien aurait été élève de Ctésibius, a été généralement adoptée.

T.-H. Martin, qui a été si heureux et si habile dans ses recherches sur Héron le Jeune, a cru pouvoir désigner, comme je l'ai dit ci-dessus, l'intervalle de 156 à 81 avant J.-C. pour la vie de Ctesibius; il placerait celle de Héron, son disciple, de 126 à 51, ses ouvrages ayant été écrits de 81 à 51. Il pense, en outre, que dans le titre des Belopœeka, il faut intercaler le mot *tou* entre les deux noms de Héron et de Ctésibius, de manière à pouvoir assimiler ces noms à ceux des exemples suivants : Un traité d'optique de Damianus donne pour auteur *Damianou tou Héliodorou*, ce qu'on traduit toujours par Damianus [disciple] de Héliodorus ; de même, en tête de chacun des ouvrages d'Eusebius de Césarée, on lit *Eusebiou tou Pamphilou*, c'est-à-dire Eusebius [ami] de Pamphilus.

Toutefois Th.-H. Martin est trop consciencieux pour ne pas signaler les difficultés qu'entraîne une telle interprétation. En effet, Héron ne parle jamais de son maître qui a écrit des ouvrages perdus, mais qui étaient bien connus dans les premiers siècles de

notre ère ; cela est tout au moins étrange et ce disciple devait être taxé d'une véritable ingratitude. On ne parle de Héron qu'à partir du IVe siècle. Pourquoi un intervalle aussi grand? Enfin, observation fort sérieuse, la langue de Héron contient des latinismes qui ne peuvent guère s'y trouver avant l'occupation romaine définitive, advenue seulement après l'an 30 avant J.-C., où se suicida la reine Cléopâtre : ainsi l'appareil n° 9 des *Pneumatiques* est un clapet de pompe, « *nommé par les romains*, *Assarion* » dit textuellement Héron, ce qui est d'autant plus extraordinaire que, d'après Vitruve, la pompe avec clapets a été inventée par Ctésibius. L'appareil 73 s'appelle *milliarion*, parce qu'il rappelle, par sa forme, une borne milliaire, *milliarium* en latin.

Le *ms* grec du *Traité sur la Dioptra* contient à la fin, et après le paragraphe relatif au train d'engrenage, une sorte d'addition que Vincent a intercalée dans l'avant-dernier paragraphe où se trouvent les mots *pasos* et *milia*, et qu'il traduit *passus* et *millia*, unités itinéraires romaines. Mais, dans une note étendue qui se rapporte à cette addition, Vincent donne des raisons très concluantes, d'après lesquelles cette addition décèlerait un compilateur gréco-romain; dans tout le reste du traité, Héron se sert, en effet, et d'une manière exclusive, des unités grecques.

Malgré ces remarques, Th.-H. Martin a toujours persisté à se rattacher à la tradition.

M. C. de Vaux nous entretient de ces questions dans son introduction. Il nous parle de M. Cantor, professeur à Heidelberg, qui s'est acquis une grande réputation par ses lectures sur *l'Histoire des Mathématiques* (Vorlesungen über geschichte der Mathematik, Leipzig, 1880). M. Cantor s'est rangé à l'opinion de Martin : il a groupé en une école dont Héron était le chef, tous les géomètres romains qui ont fleuri de César à Trajan.

M. de Vaux nous donne, d'autre part, la remarque suivante de M. Diels faite dans une communication à l'Académie de Berlin : dans le titre des Belopœeka, il n'y a rien entre les deux noms de Héron et de Ctésibius ; on peut tout aussi bien y supposer un êta, qui veut dire *ou*, que l'article tou intercalé par Martin : cet ouvrage aurait été écrit par l'un ou l'autre de ces auteurs. Quant à l'indication de Héron le Jeune, qui fait de Ctésibius le maître de Héron, il n'y aurait pas lieu de s'y arrêter à cause de l'époque inférieure (xe siècle) où elle est articulée pour la première et la seule fois.

Il est certain que si l'on avance la vie de Héron jusque dans le

premier siècle après J.-C., toutes les difficultés indiquées ci-dessus s'évanouissent. Son ingratitude envers son précepteur n'existe plus ; les latinismes sont naturels, ainsi que l'époque tardive où son nom est prononcé parmi les auteurs grecs.

M. de Vaux fait encore deux nouvelles remarques : Dans le paragraphe 8 du livre III, Héron parle de louves en fer pour saisir les pierres destinées à être montées, louves inconnues à Vitruve, et qui semblent postérieures à son temps, à moins qu'elles n'aient été, pour ainsi dire, cantonnées en Égypte et utilisées là seulement. Pline l'Ancien, qui vivait, comme nous le savons, de 23 à 79, dit dans son *Histoire naturelle* qu'on a inventé pendant sa vie la presse à vis sans levier, laquelle fait l'objet du paragraphe 19 du livre III des *Mécaniques* de Héron. Cet argument est d'une grande force.

L'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres s'est occupée aussi de cette question. M. Clermont-Ganneau, dans la séance du 4 août 1893, pense que le mathématicien cité par Héron dans le paragraphe 24 du livre premier des *Mécaniques*, est le philosophe stoïcien Poseidonios, qui s'occupait de mathématiques et de mécanique : « Poseidonios, dit-il, était encore vivant en l'an 51 avant J.-C., et Héron le cite, à côté d'Archimède, avec une déférence indiquant qu'il invoque à distance une autorité déjà consacrée par le temps. L'opinion qui tend à prévaloir actuellement, et qui considère Héron comme postérieur à Vitruve et à Pline, acquiert donc, grâce à ce fait inattendu, un haut degré de probabilité. »

Ces réflexions sont des plus fondées ; pourtant, il n'y aurait pas impossibilité absolue à ce que Héron, écrivant en 80 avant J.-C., connût un théorème découvert par un philosophe né en 133, et qui avait quarante ans en 93, soit treize ans avant la rédaction du livre.

M. Paul Tannery, dans un article publié en décembre 1893 dans le *Bulletin des Sciences mathématiques et astronomiques*, donne une autre raison tirée des œuvres de Proclus, d'après laquelle Héron serait au plus tôt du IIe siècle (contemporain de l'astronome Ptolémée) et antérieur à la seconde moitié du IIIe siècle. Cependant, il conclut en disant que la question doit être rouverte, comme nombre d'autres concernant Héron.

Tandis que Th.-H. Martin a pleine confiance dans ses recherches, au moyen desquelles il arrive, d'ailleurs, à des résultats remarquables, Vincent représente le scepticisme parmi les savants.

Visant surtout les extraits et abrégés de Héron relatifs à l'arithmétique et la géométrie pratique des anciens : « Suivant moi, dit-il, page 163. il a dû exister sous le nom de Héron, et cela dès une époque très élevée, une vaste composition, qui, servant de texte pour l'enseignement des écoles, s'est transmise de siècle en siècle en subissant des modifications successives, des additions, des mutilations, des interpolations. On enseignait Héron comme nous avons vu enseigner Euclide, chacun à sa manière. On comprend donc qu'on trouve cité Héron dans un ouvrage *(la Géodésie)* qui porte son nom, comme Euclide au moyen âge et maintenant. Au lieu de Héron le Jeune, on devrait dire le nouveau Héron. »

Il faut avouer que la variante du train d'engrenages donnée dans le *Traité de la Dioptra*, reproduite ensuite par Pappus, et l'addition où l'on parle des *pas* et *milles* romains, s'expliqueraient avec cette manière de voir, dont on peut tenir compte dans une mesure convenable.

En résumé, les partisans de la tradition veulent que Héron ait écrit ses ouvrages vers l'an 81 avant J.-C.; leurs adversaires demandent que cette date soit avancée vers la fin du premier siècle de notre ère. Les sceptiques s'unissent aux partisans de la tradition et tendent plutôt à reculer l'époque où vivait Héron; ils accroissent l'importance qu'il faut lui attribuer, car ils en font un chef d'école comme Euclide, dont les œuvres sont remaniées par les générations successives des maitres qui les ont adoptées pour leurs enseignements.

Nous laisserons ouvertes ces controverses qui ne sauraient diminuer l'intérêt éveillé en nous par les travaux de Héron : il nous suffit provisoirement de connaître les limites extrêmes entre lesquelles cet auteur a dû écrire ses divers traités.

Nous nous confierons surtout au temps pour nous apporter des arguments décisifs; car si M. de Vaux a recherché des manuscrits signalés dans les bibliothèques européennes, pourquoi n'étendrait-il pas ses investigations jusqu'aux bibliothèques musulmanes qui contiennent certainement de véritables richesses en livres précieux et encore inconnus. Depuis une trentaine d'années, l'histoire s'est renouvelée par les fouilles, les découvertes épigraphiques et celles des documents anciens ou récents restés inutilisés ; il y a, dans les recherches dont je parle, un vaste champ d'activité pour la jeunesse studieuse, des résultats importants à obtenir et de nouveaux succès à enregistrer pour la science française.

IV. — Conclusion.

Si j'ai fait ressortir dans cette notice les améliorations que les modernes ont apportées aux théories des anciens, je ne veux cependant pas qu'on se méprenne sur le très grand intérêt que doit exciter en nous, à mon avis, d'abord la recherche de ces mêmes théories qui ont provoqué l'éveil des intelligences et nous ont permis d'arriver au point où nous sommes, ensuite la connaissance plus précise des moyens adoptés dans l'antiquité pour exécuter les œuvres d'art ainsi qu'ériger les monuments qui s'imposent à l'admiration universelle.

Aussi la traduction des *Mécaniques* de Héron doit être considérée comme un véritable événement scientifique, et nous devons des remerciements à celui qui a cherché le précieux manuscrit et l'a traduit de l'arabe.

Dans la communication que je faisais le 4 mai dernier à notre Société, j'ajoutais à ces dernières réflexions que les *Pneumatiques*, cette œuvre si importante de Héron, a été traduite en italien, en allemand et en anglais, sans qu'il en existe une traduction française : c'était un motif de plus pour se féliciter de posséder les *Mécaniques* dans notre langue. Mais je me trompais.

A propos du centenaire de l'École Polytechnique, les journaux ont parlé du *colonel Albert de Rochas* comme ayant publié des traductions relatives aux anciens traités d'attaque et de défense des places de guerre. Cela éveilla mon attention, et je sus bientôt que M. A. de Rochas avait écrit, en outre, un ouvrage intitulé : *la Science des Philosophes et l'art des Thaumaturges dans l'antiquité;* en ouvrant le volume, je lus comme sous-titre : *les Pneumatiques de Héron d'Alexandrie et de Philon de Byzance.* Le volume se termine, en effet, par une traduction à la fois complète et très soignée de ces *Pneumatiques :* je me suis expliqué qu'elle n'ait pas eu le retentissement qu'elle mérite tout à fait, en voyant au *verso* du titre qu'elle a été tirée seulement à 220 exemplaires.

Aussi, je suis heureux de terminer cette notice en constatant que sur les cinq ouvrages principaux de Héron, nous en possédons trois — les *Pneumatiques*, la *Dioptra* et les *Mécaniques*, — traduits dans notre langue, en tenant compte des exigences de la critique moderne.

CHRONIQUE

N° 173.

Sommaire. — Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemin de fer. — Bateaux porte-trains aux États-Unis. — Une grue de 160 tonnes. — Démontage des pièces de machines emmanchées à chaud. — Assainissement de Los Angeles.

Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemins de fer. — Notre collègue, M. de Borodine, a lu à la réunion d'octobre dernier de l'*Institution of Mechanical Engineers*, un important travail sur le fonctionnement des machines d'alimentation d'eau des gares. Il nous parait d'autant plus intéressant de reproduire ce travail que la Société s'est déjà occcupée de cette question, il y a une trentaine d'années, lors de la lecture de deux mémoires de M. Chavès, sur le même sujet, mémoires insérés dans les bulletins de 1862, page 189, et 1863, page 297.

Rappelons en passant que ces communications de M. Chavès donnèrent lieu à des discussions parfois très vives qui se prolongèrent pendant plusieurs séances et auxquelles prirent part des membres des plus compétents. Dans la séance du 17 juillet 1863 notamment, sous la présidence du général Morin, la discussion, quittant le point de départ, s'élargit considérablement et finit par porter uniquement sur la question des machines à vapeur en général. C'est à ce sujet, croyons-nous, que furent émises, pour la première fois, devant la Société et avec une grande autorité, des vues qui soulevaient encore à cette époque une grande opposition, mais que la pratique ne devait pas tarder à sanctionner de la manière la plus formelle.

Les pompes à vapeur employées pour l'alimentation des gares des chemins de fer Sud-Ouest russes appartiennent à différents modèles et, avec le développement du trafic, on est arrivé à les remplacer de temps en temps par des types plus nouveaux, plus puissants et plus économiques. On a entrepris, aux principales stations, une série d'expériences pour apprécier le coût de l'élévation et le travail utile des divers systèmes de même que ceux des pompes de même système travaillant dans des conditions différentes. Ces expériences sont en cours depuis plusieurs années et ne sont pas encore terminées, mais on a déjà des résultats suffisamment précis pour qu'il soit intéressant de les faire connaître.

Voici comment les expériences ont été conduites. Chaque essai durait de quatre à neuf heures, pendant lesquelles on observait la consommation de

combustible, celle d'eau d'alimentation, le nombre de coups donné par la pompe et le débit d'eau élevée. Ce dernier était mesuré soit par un compteur, soit par le niveau de l'eau dans les réservoirs. On notait, en même temps, la pression dans le tuyau de refoulement près de la pompe au moyen d'un manomètre, et cela pendant le fonctionnement de la pompe et aussi la pompe arrêtée et le tuyau plein d'eau. A la hauteur correspondant à la pression pendant la marche, on ajoutait la hauteur d'aspiration pour avoir la hauteur totale h d'élévation en mètres d'eau, y compris les frottements. Le poids d'eau élevé par heure p étant connu, le travail effectif en chevaux de l'appareil est $T = \frac{p\,h}{270\,000}$.

Les expériences ont permis de constater : 1° le poids d'eau en kilogrammes élevée par kilogrammètre de vapeur ou plutôt d'eau d'alimentation; 2° la dépense de vapeur ou plutôt d'eau d'alimentation par cheval effectif et 3° le nombre de kilogrammètres effectifs donné par l'appareil pour un kilogramme d'eau d'alimentation. De plus, la comparaison du volume engendré par le piston de la pompe avec le débit d'eau pour le même temps donne le rendement de la pompe. On a aussi déterminé la production de vapeur par kilogramme de combustible, et, dans quelques cas, la dépense de combustible nécessitée pour la mise en pression.

Les expériences ont été faites par des observateurs différents, avec beaucoup de soin et toutes les précautions nécessaires. Le niveau de l'eau dans la chaudière était ramené à la fin de l'essai à la même hauteur qu'au début. Lorsque la chaudière était alimentée directement par le tuyau de refoulement de la pompe, on ajoutait le volume introduit dans la chaudière à celui qui allait au réservoir et on avait soin de ne pas prendre d'eau à celui-ci pendant la durée de l'essai. On pesait exactement le combustible dépensé. On a soumis aux expériences les pompes suivantes dans leur état ordinaire et sans préparation spéciale pour les essais.

Les dimensions essentielles de ces pompes sont données dans le tableau A.

Pompes Reschitz. — Ces pompes sont d'un vieux modèle et ont été installées, il y a une vingtaine d'années, lors de la construction de la ligne d'Odessa. Elles comprennent une machine horizontale actionnant un arbre avec volant et commandant, par un engrenage retardateur, un second arbre à manivelle. Cet arbre attaque par une longue bielle la branche verticale d'un balancier en forme de T, dont les branches horizontales commandent deux pompes verticales à plongeur placées dans le puits, de manière à être toujours hors de l'eau. L'engrenage avait pour but de n'avoir pour les pompes qu'une vitesse réduite parce qu'à cette époque on craignait de faire marcher ces appareils un peu vite. Ces machines sont extrêmement lourdes et volumineuses et demandent des fondations très coûteuses. Leur installation est onéreuse de même que leur entretien.

Pompes Cail. — Ces appareils sont également anciens, ils sont composés d'une locomobile actionnant par courroies et engrenages retarda-

TABLEAU A

SYSTÈME DE POMPES	NUMÉROS DE L'ESSAI	STATIONS	CYLINDRE A VAPEUR Diamètre	CYLINDRE A VAPEUR Course	POMPE Diamètre	POMPE Course
			mètres	mètres	mètres	mètres
Reschitz	1	Zatichié	0,270	0,400	0,117	0,320
	2	Katerinovka. . .	0,270	0,400	0,117	0,320
	3	Golta	0,270	0,400	0,150	0,480
	4	Razdelnaia. . . .	0,270	0,400	0,117	0,320
	5	Shestakovka. . .	0,270	0,400	0,117	0,320
	6	Pomoshnaia . . .	0,270	0,400	0,117	0,320
	7	Elizavetgrad. . .	0,270	0,400	0,117	0,320
Cail	8	Krijopol.	0,160	0,270	0,158	0,375
	9	Fastov	0,160	0,270	0,162	0,400
Vertical { Lilpop Rau	10	Imérinka	0,345	0,280	0,136	0,280
Vertical { Origine inconnue	11	Kieff	0,205	0,320	0,156	0,500
Cockerill	12	Perecrestovo. . .	0,415	0,740	0,152	0,740
	13	Wessiolly Koute .	0,330	0,762	0,152	0,762
	14	Karpovo.	0,280	0,608	0,140	0,608
Hayward Tyler (construite en Amérique)	17	Zdolbounovo . .	0,178	0,180	0,152	0,180
	18 - 19	Zabolotié	0,178	0,180	0,102	0,180
	20	Krijopol ┼ . . .	0,229	0,254	0,114	0,254
	21	Zdolbounovo . .	0,190	0,254	0,140	0,254
Worthington ordinaire venant des ateliers Liszt à Moscou	22	Ogénine.	0,190	0,254	0,114	0,254
	23	Kazatine	0,190	0,254	0,114	0,254
	24	Kivertzy	0,190	0,254	0,114	0,254
	25	Koublitch. . . .	0,159	0,152	0,092	0,152
	26	Christonovka . .	0,159	0,152	0,114	0,152
	27	Demkovka . . .	0,159	0,152	0.092	0,152
Worthington compound	28	Gaicine	0,133 - 0,266	0,152	0,092	0,152
	29	Wessiolly Koute .	0,254 - 0,466	0,254	0,114	0,254
	30 - 32	Birzoula.	0,206 - 0,400	0,254	0,114	0,254
Blake compound	33	Birzoula.	0,233 - 0,466	0,595	0,140	0,595
	34 - 35	Kazatine	0,233 - 0,466	0,595	0,400	0,595
	36	Razdelnaia . . .	0,233 - 0,466	0,595	0,140	0,595

Dans les essais 1 à 14 les pompes ont des transmissions par engrenages avec ralentissement dans les rapports suivants : 3,2 à 1 pour les numéros 1 à 7; 8,63 à 1 pour le numéro 8; 8,41 à 1 pour le numéro 9; 1 à 1 pour 10 et 12; 4,5 à 1 pour 11; 3,29 à 1 pour 13 et 3 à 1 pour 14.

teurs un arbre coudé qui commande le piston d'une pompe horizontale à double effet. Ils sont encore plus volumineux que les précédents, demandent des fondations considérables et sont coûteux d'entretien.

Pompes ordinaires avec machines verticales. — Une pompe de ce genre provenant des ateliers Lilpop-Rau a été montée à Imerinka en 1878, et une autre à Kieff, cette dernière de provenance inconnue.

Pompes Cockerill avec machines horizontales.—Ces machines comprennent un cylindre à vapeur horizontal actionnant directement par sa tige une pompe à double effet; la tige du piston à vapeur sortant par le fond opposé du cylindre attaque par deux bielles en retour un arbre à volant placé entre le cylindre à vapeur et la pompe. Ces appareils sont très puissants et sont employés pour refouler dans de longues conduites avec de grandes différences de niveau. La construction est soignée et le fonctionnement très satisfaisant, mais ils sont coûteux, tiennent beaucoup de place et exigent des fondations importantes.

Pulsomètres et injecteurs. — Il y a dix à quinze ans ces engins étaient très en vogue à cause de leur simplicité, de leur bas prix et du peu de place qu'ils occupaient. Ils contrastent singulièrement sous ce rapport avec les machines lourdes et volumineuses dont il vient d'être question.

Pompes à action directe de Hayward-Tyler. — Ces pompes ont le piston à vapeur et la pompe sur la même tige, pas de volant et la distribution intérieure disposée dans le piston à vapeur. Elles sont très compactes et n'exigent aucune fondation. On peut les placer simplement sur une pièce de bois légèrement fixée au sol.

Pompes Worthington ordinaires et compound et pompes compound Blake. — Ces pompes, d'origine américaine, sont horizontales et à action directe sans arbre ni volant. Elles occupent très peu de place, sont faciles à installer et ne demandent que des fondations très simples. Les pompes Worthington surtout, grâce à leur vitesse considérable de fonctionnement, sont légères et économiques d'établissement. Elles présentent un contraste frappant avec les anciennes pompes à marche lente; ainsi les pompes Reschitz, de la station de Katerinovka, et les pompes Cockerill, de la station Wessiolly-Koute, ont des vitesses de piston respectives de 0,17 *m* et 0,20 *m* par seconde, tandis que la pompe Worthington, de la station de Krijopol, marche à 0,50 *m* par seconde et peut aller encore plus vite. Toutes les nouvelles installations qui se font sur les chemins de fer Sud-Ouest emploient exclusivement des pompes des types Worthington ou Blake.

Essais. — Toutes les machines qui ont été soumises aux expériences fonctionnaient sans condensation, à l'exception de la pompe Hayward-Tyler, de la station de Zabolotié, et des pompes Worthington, de Birzoula. Ces condenseurs étaient médiocrement établis et, dans les essais

n°s 19 et 30 du tableau E (1), la condensation n'a donné que des résultats peu avantageux. Des principaux résultats recueillis on peut tirer les conclusions suivantes :

1° L'effet utile de la vapeur employée à élever l'eau nécessaire au service des stations de chemins de fer dépend en grande partie de la quantité élevée par heure ; plus cette quantité est considérable, jusqu'à une certaine limite toutefois, plus l'effet utile sera grand. Le tableau B donne, pour les conditions normales de fonctionnement, la hauteur d'élévation, le débit total par heure et par kilogramme de vapeur dépensée et le travail en kilogrammètres par kilogramme de vapeur.

Tableau B

Système de pompes et hauteur d'élévation	Numéros des essais	Stations	Eau élevée par heure	Eau élevée par kg. de vapeur	Travail en kilogrammètres par kilog de vapeur
			L.		
Hayward Tyler 10 à 14 *m.*	18	Zabolotié	11,140	90	900
	19	—	13,680	101	1010
	17	Zdolbounovo	16,530	129	1811
Reschitz 56 à 63 *m.*	7	Elizavetgrad	4,480	36,1	2162
	4	Razdelnaia	6,020	47,5	3000
	3	Golta	11,960	58,5	3282
Worthington non compound 35 à 40 *m.*	27	Demkovka	10,060	102	3471
	26	Christinovka	14,950	101	3431
	23	Kazatine	31,210	144	5764
	21	Zdolbounovo	39,860	152	5935
56 à 58 *m.*	25	Koublitch	10,060	88,5	5133
	22	Ogenine	27,630	111	6225
Worthington compound 180 *m.*	31	Birzoula	42,670	63,4	11400
Blake compound 170 *m.*	33	Birzoula	18,250	52,6	8950

2° L'effet utile de la vapeur dépend aussi de la grandeur des appareils, laquelle a également une relation directe avec la quantité d'eau élevée à l'heure et la hauteur d'élévation, la dépense de vapeur par cheval effectif et par heure diminuant avec l'augmentation du travail accompli par la pompe. Ce fait est mis en évidence dans le tableau C qui donne, pour quatre types d'appareils, la consommation comparative de vapeur par cheval et par heure, avec plusieurs exemples pour chaque type.

(1) Ce tableau sera donné dans la suite du mémoire qui paraîtra au *Bulletin* de juin.

TABLEAU C

SYSTÈMES DE POMPES	NUMÉROS DES ESSAIS	STATIONS	TRAVAIL EFFECTIF	VAPEUR par cheval et par HEURE
			chevaux	kilog.
Reschitz	7	Elizavetgrad	0,99	126
	6	Pomoshnaia	1,08	126
	4	Razdelnaia	1,38	91
	5	Shestakovka	1,97	120
	3	Golta	2,47	83
	2	Katerinovka	2,69	52
	1	Zatichié	3,71	66
Worthington non compound	27	Demkovka	1,18	83
	26	Christinovka	1,78	83
	25	Koublitch	2,12	53
	24	Kivertzy	4,04	43
	22	Ogenine	5,62	44
	21	Zdolbounovo	5,67	48
	20	Krijopol	8,19	35
Worthington compound	28	Gaicine	3,55	43
	29	Wessiolly Koute	14,70	27
	30	Birzoula	28,40	23
Blake compound	36	Razdelnaia	5,13	42
	34	Kazatine	7,89	38
	33	Birzoula	11,30	30

Les petites anomalies que présente le tableau C sont vraisemblablement dues à des circonstances accidentelles. La consommation plus élevée de vapeur pour les pompes de dimensions moindres s'explique par le fait bien connu que l'effet utile des petits appareils est moindre et que l'influence de leurs résistances passives est plus grande.

Cette circonstance explique également la consommation, en général très considérable, observée sur les pompes essayées, consommation qui, dans le tableau E, va de 308 à 22,6 *kg* de vapeur par cheval effectif et par heure.

Pour faire une comparaison rationnelle entre la consommation de vapeur de ces appareils avec celle des machines ordinaires à haute pression sans condensation, qui varie de 13,5 *kg* à 9 *kg* par cheval indiqué et par heure, le cheval effectif devrait être remplacé, pour les premières, par le cheval mesuré à l'indicateur sur les pistons à vapeur. Malheureusement dans les expériences dont il s'agit, il n'a pas été relevé de diagrammes d'indicateur et on ne pourrait passer du travail effectif en eau montée au travail indiqué qu'en recourant à des observations faites

sur d'autres pompes. L'ouvrage de M. F. Colyer « Pumps and Pumping Machinery » (1882, pages 64-80) donne la description de diverses expériences effectuées sur de puissantes machines élévatoires à condensation; il en ressort que, dans des appareils développant de 100 à 300 *ch*, le travail effectif représente de 72 à 82 0/0 du travail-mesuré à l'indicateur sur les pistons à vapeur, c'est-à-dire que le travail indiqué dépasse de 39 à 22 0/0 le travail effectif. Dans des essais faits à Colmar sur une machine élévatoire développant 78 *ch*, le travail effectif a atteint 77 0/0 du travail indiqué.

Il est évident que, dans des machines de faibles dimensions telles que les machines d'alimentation des gares, les frottements et autres résistances absorbent une portion relativement plus considérable du travail développé sur les pistons à vapeur, et cela d'autant plus que l'appareil est plus petit.

Des expériences faites en Angleterre sur une petite machine à vapeur dans un laboratoire de mécanique ont fait voir que, pour 10,53 *ch* et 14,29 *ch* indiqués on avait un travail-mesuré au frein de 6,85 *ch* et 10,60 *ch* respectivement, c'est-à-dire que le travail indiqué dépassait le travail au frein de 54 à 35 0/0 (*Engineering*, 25 déc. 1891, p. 744). D'autre part, dans les pompes à action directe sans condensation, telles que les pompes Worthington, Blake, etc., qui n'ont ni arbre à volant, ni mécanisme de transmission, les résistances passives sont bien moins grandes que dans les systèmes qui présentent ces complications et qui, de plus, sont à condensation.

Dans des expériences faites par MM. Mair et Simpson sur une pompe Worthington donnant près de 100 *ch*, le travail utile a atteint environ 90 0/0 du travail produit par la vapeur sur le piston. On n'est probablement pas bien loin de la vérité en admettant qu'avec la pompe Worthington compound de Birzoula (essai n° 30) développant 28,4 *ch* effectifs, le travail indiqué était de 40 0/0 supérieur, soit 40 *ch*; la consommation de vapeur de 22,6 *kg* par cheval effectif correspondrait donc à 16,3 *kg*. S'il en est ainsi, il semblerait même que les meilleures et les plus puissantes machines d'alimentation d'eau des gares, telles que les pompes Worthington qui ont été expérimentées, dépensent de 40 à 50 0/0 de plus de vapeur que les bonnes machines récentes sans condensation. Pour les autres pompes, la consommation est de beaucoup supérieure.

On va voir également que les petites machines employées dans l'alimentation d'eau des gares sont très inférieures, comme effet utile, aux grandes pompes à vapeur employées dans les mines ou pour les élévations d'eau dans les villes. M. Colyer a constaté qu'avec les meilleures machines de Cornouailles ou appareils analogues, un kilogramme de bon charbon anglais produit de 260 000 à 310 000 *kgm*. Si on admet qu'un kilogramme de ce combustible brûlé dans des conditions favorables sous une bonne chaudière produit 10 *kg* de vapeur, il en résulte que 1 *kg* de vapeur développera de 26 000 à 31 000 *kgm*. On a vu que la plus économique des pompes décrites ci-dessus, savoir la pompe Worthington sans condensation de Birzoula, donne seulement 11 300 *kgm* par kilogramme de vapeur, c'est-à-dire les 40 0/0 environ de ce que produisent les grandes machines. Il est vrai qu'elle est sans condensation, mais lors-

qu'on a fait fonctionner cette même pompe avec un condenseur, médiocrement installé, il faut le dire, son effet utile n'a monté qu'à 12 100 *kgm*. Les autres pompes donnent des résultats encore bien inférieurs. On doit remarquer que les grandes machines d'élévation d'eau des villes restent en général, en effet utile, bien au-dessous des machines de Cornouailles; ainsi les appareils installés récemment à Samara ne donnent que 15 700 *kgm* par kilogramme de vapeur au lieu de 30 000. *(A suivre.)*

Bateaux porte-trains aux États-Unis. — On sait que le transport de trains de chemins de fer sur des bateaux établis *ad hoc* se fait très couramment en Amérique. En voici quelques exemples donnés par le *New York Mail and Express*.

La traversée de l'East River et de l'Hudson par des bateaux porte-trains est déjà ancienne. On a pu réaliser ainsi une communication directe sans changement de voitures et sans rupture de charge entre les États de la Nouvelle-Angleterre et la côte de l'Atlantique au sud de New-York.

Le *Central Pacific* a un service analogue sur le détroit de Carquinez où le ferry-boat *Solano* transporte vingt-quatre voitures à voyageurs ou quarante-huit wagons à marchandises avec la locomotive malgré un courant de 8 milles à l'heure. L'embarquement et le débarquement du train demandent chacun quinze minutes.

Le *New York, Philadelphia and Norfolk R. R.* a, pendant dix ans, eu un service de ferry-boat entre Cape Charles et Norfolk, Va., sur une distance de 46 *km*.

Il y a un service analogue sur le détroit de Mackinaw; les bateaux ont une hélice à l'avant et une à l'arrière et traversent les glaces du lac Michigan.

Le *Toledo, Ann Harbour and Northern Michigan R. R.* a inauguré un service de même genre entre Kewannee, Wis. et Frankfort, Mich., sur une distance de 109 *km*. Les bateaux ont fonctionné deux hivers et l'été intermédiaire avec un succès complet; ils ne sont pas arrêtés par les glaces tant que l'épaisseur reste au-dessous de 0,50 *m*. Les wagons sont fixés de manière à n'éprouver aucune oscillation sur leurs suspensions, même par les plus mauvais temps. Le trajet de 109 *km* s'effectue en 5 heures lorsqu'il n'y a pas de glace.

En présence de ces faits, les Américains s'étonnent beaucoup de ce qu'on n'ait pas encore établi de service analogue sur le Pas-de-Calais où la distance est à peine le tiers du parcours que nous venons de citer. Il a été fait, il y a quinze ou vingt ans, des études très complètes sur la question; elles n'ont abouti à aucun résultat. Il y a pourtant là, semble-t-il, une solution infiniment plus économique et plus rapide que les ponts, tunnels, etc., dont on s'est tant occupé, cette solution ne fût-elle que provisoire.

Il nous paraît intéressant de compléter cette note par quelques détails sur un des ferry-boats dont il a été question plus haut, détails empruntés à un article récent du *Railroad Gazette*.

Ce ferry-boat, nommé *Sainte-Marie*, a été construit l'année dernière par la Detroit Dry Dock Company pour le service du passage des trains

à travers le détroit de Mackinaw. La coque a 82 *m* de longueur sur quille et 92,10 *m* sur le pont; la largeur est de 15,71 *m* et le creux de 7,25 *m*.

Le pont porte trois doubles files de rails pouvant recevoir dix-huit wagons à marchandises.

La coque est construite avec une solidité exceptionnelle; elle est presque entièrement en chêne, sauf les barrots du pont et les longrines des voies qui sont en sapin de Géorgie. Les membrures ont 0,305 *m* de côté et 0,610 de hauteur sur la quille; le bordé est en chêne de 0,150 *m* d'épaisseur avec un doublage en tôle d'acier allant jusqu'à 6 *mm* d'épaisseur.

Les formes de la carène sont très fines, le coefficient de déplacement étant inférieur à 0,50. C'est un élément important pour le service que le bateau a à faire, parce qu'avec des formes très fines, la glace que rencontre celui-ci glisse de chaque côté et en dessous sans arrêter la marche, ce qui arrive avec les formes pleines.

Le pont principal ne porte que les wagons; les cabines sont sur le pont supérieur qui est à 7,50 *m* au-dessus de la flottaison. Les côtés sont fermés de façon à abriter les wagons par le mauvais temps. Le trajet est suffisamment long pour qu'il ait été nécessaire de faire des installations un peu confortables sous forme de salles à manger, cabinets de toilette, etc.

L'appareil moteur comprend deux machines compound à pilon donnant ensemble environ 2 500 *ch* indiqués, l'une pour l'hélice arrière, l'autre pour l'hélice avant. Ces deux machines n'ont pas les mêmes dimensions ; celle d'avant a des cylindres de 0,70 *m* et 1,30 *m* de diamètre et 1,02 *m* de course, la machine arrière des cylindres de 0,80 et 1,45 *m* avec 1,22 *m* de course. Les pompes à air sont indépendantes et du type Worthington ; les pompes d'alimentation sont également indépendantes et les grandes machines n'ont à conduire que les pompes de cale et les pompes de circulation des condenseurs.

Les machines auxiliaires comprennent aussi les moteurs pour l'éclairage électrique de trois cents lampes à incandescence et un projecteur, quatre cabestans à vapeur pour haler les wagons, et d'autres pour relever et abaisser les tabliers d'embarquement et de débarquement de ceux-ci. On peut citer encore, parmi les appareils auxiliaires, quatre monte-escarbilles hydrauliques. Les chauffeurs n'ont plus qu'à jeter les cendres dans une trémie et à ouvrir un robinet.

La vapeur est fournie par quatre chaudières à double façade, de 3,51 *m* de diamètre sur 5,33 *m* de longueur, marchant à 8 1/2 *kg* par centimètre carré. Chaque chaudière a sa cheminée indépendante.

Le navire est muni de deux bâches mobiles pour prévenir le roulis. Ces bâches, placées dans l'entre-pont, agissent d'une manière très efficace. On a fait l'essai de la puissance du *Sainte-Marie* contre les glaces au commencement de l'hiver dernier. On l'a lancé contre un champ de glace dont l'épaisseur a été reconnue de 0,68 *m* d'épaisseur ; il l'a traversé sans grande difficulté. On a arrêté le bateau au milieu, et on l'a fait repartir sans avoir besoin de renverser les machines pour le dégager et lui faire prendre de l'élan.

Une grue de 160 tonnes. — La plus puissante grue qui existe actuellement est vraisemblablement celle qui a été installée récemment à l'arsenal de Chatham, par MM. Tannett, Walker et C[ie], constructeurs à Leeds. Cet appareil est une combinaison d'une grue à vapeur et d'une grue hydraulique.

L'ensemble repose sur une fondation massive en maçonnerie sur laquelle est fixé le chemin de roulement qui a 13,80 *m* de diamètre. Des galets dont les axes sont reliés par un double cercle roulent sur ce chemin, ils sont très rapprochés pour donner une bonne distribution de la charge qui est considérable, comme on le verra. La flèche est formée de deux poutres métalliques à section tubulaire se rapprochant vers le haut et entretoisées par des traverses et des croix de Saint-André. Cette flèche est rattachée à l'arrière du bâtis par huit double-tirants en fer rond. De l'extrémité de la volée pend un palan comme à l'ordinaire, mais ce palan ne sert que pour les charges de 30 *t* et au-dessous. De cette volée pend également un cylindre hydraulique contenant un piston dont la tige porte un crochet; ce piston, mû par l'eau sous pression, sert pour élever les charges de plus de 30 *t* jusqu'à 160 *t* à une hauteur de 15 *m*. La portée de la grue est de 22 *m* et la poulie de la flèche est à 38 *m* au-dessus du niveau du quai.

La chaudière est à l'arrière, elle est horizontale et a 2,30 *m* de diamètre sur 5,50 *m* de longueur. Elle fournit la vapeur à trois machines, l'une pour pomper l'eau sous pression, la seconde pour actionner le tambour sur lequel s'enroulent les câbles employés à élever les charges relativement légères, la troisième pour opérer la rotation de l'appareil. Il y a un fort contrepoids en fonte derrière la chaudière. Après le montage de la grue à l'arsenal, celle-ci a été éprouvée sous une charge de 320*t*, double de la charge normale, et elle l'a levée sans difficulté. On estime que l'appareil complet pèse environ 500 *t*.

Après cette grue parait venir, comme puissance, celle qui a été montée dernièrement sur les quais de Glasgow et qui peut lever 130 *t*; la flèche a 27,50 *m* de longueur et le poids de l'appareil est de 370 *t*.

Démontage des pièces de machines emmanchées à chaud. — Notre distingué collègue, M. Raffard, a indiqué dans le *Bulletin technologique de la Société des anciens élèves des Écoles d'Arts et Métiers*, une méthode simple et efficace pour démonter certaines pièces de machines, telles que manivelles, plateaux, etc., emmanchées à force et souvent à chaud sur des arbres.

M. Raffard étant, en 1860, ingénieur dans une fabrique de machines à Melbourne, en Australie, eut à faire enlever une manivelle en fer forgé emmanchée à chaud sur le bout d'un arbre de 0,20 *m* de diamètre. Tous les moyens ordinaires ayant échoué, il suspendit l'arbre avec la manivelle en bas à la chaine du treuil d'un pont roulant de fonderie. On fit dans le sable un creux autour de la manivelle et on y coula une quantité de fonte à peu près double du poids de la pièce à démonter. Dès que la fonte versée eut suffisamment échauffé la manivelle, on enleva sans difficulté l'arbre en virant sur le treuil. Ce procédé a toujours réussi, il est simple et peu coûteux.

Les journaux anglais ayant reproduit la note de notre collègue ont reçu quantité de lettres relatives à des procédés tendant au même but. Quelques-uns sont compliqués, en voici deux assez simples.

Pour démonter une manivelle en laissant l'arbre en place, on applique sur le bout de l'arbre un tronçon de tuyau à bride d'un diamètre un peu inférieur à celui de l'arbre. On ferme ce bout de tuyau par un disque et on maintient le tout appuyé contre le bout de l'arbre par des brides ou des boulons. Deux tuyaux percent le disque, l'un amène de l'eau froide, l'autre l'évacue, on maintient ainsi le bout de l'arbre froid tandis qu'on chauffe extérieurement le moyeu de la manivelle.

Un autre procédé consiste à chauffer aussi fortement que possible l'arbre et la manivelle à la partie de l'emmanchement. Puis on refroidit brusquement le moyeu de la manivelle avec un jet abondant d'eau froide. Ce moyeu se contracte sur l'arbre; lorsque celui-ci se refroidit à son tour, il diminue de diamètre, et, le contact cessant, on peut le retirer sans difficulté. Ces deux procédés sont indiqués dans une lettre contenue dans le numéro de l'*Engineering* du 29 mai 1894, page 680.

Assainissement de Los Angeles. — On vient de terminer à Los Angeles, en Californie, un travail d'assainissement très remarquable. C'est un collecteur de 20 *km* destiné à porter les eaux d'égout à la mer. Voici sur la construction de cet ouvrage exécuté sous la direction de l'ingénieur municipal, M. J.-H. Dockweiler, quelques détails empruntés à l'*Engineering Record*.

Le collecteur se divise en dix sections.

La 1re appartient au réseau intérieur des égouts; elle a 753 *m* de longueur, sa section est circulaire, de 1,30 *m* de diamètre et le revêtement est formé de deux anneaux de briques; elle a coûté 60 000 *f*.

La 2e section a 1 350 *m*, elle a une section circulaire de 1,02 *m* de diamètre et est formée de deux anneaux de maçonnerie de briques. A son extrémité inférieure se trouve une chambre de dépôts de 19 *m* de longueur sur 7,80 *m* de largeur ayant 1,20 *m* de profondeur au-dessous du radier de la galerie. Cette partie a coûté 120 000 *f*.

La 3e section a une longueur de 5 180 *m*, elle a 0,96 *m* de diamètre et est en pin rouge de Californie; on y a ménagé des soupapes de purge et des prises d'eau pour l'arrosage. La construction est faite en douves maintenues par des cercles en acier, système assez employé en Amérique pour les conduites d'eau. Elle a coûté 195 000 *f*.

La 4e section comporte un tunnel de 850 *m* et une galerie de 580 *m*, cette dernière a la même disposition que la seconde section; le tunnel a 1,83 *m* de hauteur sur 1,40 *m* de large avec une section en œuf; il est voûté avec deux rangs de briques et a, à la partie inférieure, une cuvette en béton. Cette section a coûté 159 000 *f*.

La 5e section se compose d'un tunnel de 915 *m* et d'une tranchée de 275 *m*; le prix a été de 150 000 *f*. La 6e section est un conduit en bois de 0,90 *m* de diamètre comme la 3e, elle a 5 270 *m* de longueur et a coûté 192 000 *f*; elle porte des prises d'eau d'arrosage.

Les 7e et 8e sections sont des tranchées ouvertes, de 1 815 *m* et 1 434 *m* de longueur; elles ont coûté ensemble 260 000 *f*. La 9e section a 1 200 *m*

de longueur dont un tunnel de 650 *m*, le prix s'est élevé à 145 000 *f*. Enfin la 10e section est formée d'un tuyau en fonte de 0,61 *m* de diamètre et 365 *m* de longueur pénétrant dans la mer sur une longueur de 180 *m* à une profondeur de 6 *m*. Un certain nombre de joints sont articulés. Cette partie a coûté 50 000 *f*. La dépense totale s'est élevée à 1 327 000 *f*, soit 66,30 *f* le mètre courant. La pente totale de la ville à l'océan Pacifique est de 54,30 *m*, ce qui donne 0,27 0/0.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Mars 1894

Rapport de M. Hirsch sur **une application des générateurs Serpollet à la traction des voitures de tramways.**

L'application dont il s'agit a été faite sur une voiture de la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, sur la plate-forme d'avant de laquelle ont été établis les générateurs et les appareils de conduite. Le moteur est fixé au-dessous et actionne, par des chaines Galle, les deux essieux du véhicule.

Le générateur se compose de tubes droits en acier, à section en crois sant, disposés les uns à côté des autres et communiquant chacun avec son voisin de manière à former un serpentin; l'eau arrive par le bas et la vapeur sort par le dernier tube de la rangée supérieure. Le foyer est enveloppé de parois réfractaires et le tirage est activé par la vapeur d'échappement. Le moteur est une machine horizontale à deux cylindres de 1,30 *m* de diamètre et autant de course et est enfermé dans une boite en tôle pour être à l'abri de la poussière. La vitesse de l'arbre est ralentie dans le rapport de 3 à 1 par des engrenages et des chaines. Une pompe mue par la machine envoie l'eau au générateur et une petite pompe à main produit la mise en marche. Le bruit de l'échappement est supprimé par l'emploi d'un réservoir amortisseur et l'odeur d'huile est détruite par le mélange de la vapeur d'échappement avec un courant d'air chaud provenant de l'enveloppe du générateur.

Le poids de l'appareil moteur, y compris les approvisionnements d'eau et de combustible, n'est que de 1 500 *kg*; la voiture pesant, avec 40 voyageurs, 6 300 *kg*, on voit que le poids relatif du moteur est très faible. La voiture peut remorquer une ou deux autres voitures. Elle a pu, avec une autre attelée derrière, remonter une rampe de 34 0/00 à la vitesse de 25 *km* à l'heure. Le chargement de combustible du foyer suffit pour un parcours de 11 *km*, de sorte que le mécanicien n'a pas, en cours de route, à s'occuper de la conduite du feu. Cette solution parait présenter un véritable et sérieux intérêt.

Rapport de M. Joseph Imbs sur la **proposition d'unification de la jauge des métiers à tricot,** de M. Ch. Cambon.

L'adoption d'une base commune de numération pour la définition des degrés de finesse relative des métiers à tricot est une chose très désirable. M. Cambon propose de substituer une jauge par décimètre aux jauges

usitées par simple pouce, anglais, français ou allemand, et de supprimer toute subdivision en gros ou fin. La formule proposée serait : le nombre d'aiguilles contenu dans un décimètre, mesuré sur la ligne droite ou courbe qui passe par les becs d'aiguilles, constitue le numéro de finesse d'un métier à tricot. Cette formule est très recommandable; mais, par contre, le rapporteur ne saurait admettre qu'on ajoute, comme le propose M. Cambon, même à titre de renseignement, le numéro de fil à utiliser pour un numéro déterminé de métier, ce qui serait purement conventionnel et aurait le grave défaut de paraître trancher sommairement la question infiniment plus complexe du titrage des fils, question pour laquelle diverses considérations recommandent une certaine réserve.

Transporteurs hydrauliques à barrages, par M. BONDONNEAU.

Ces transporteurs hydrauliques sont formés de caniveaux en bois, tôle ou maçonnerie dont la pente variable est déterminée par la nature de la matière à transporter et par le volume d'eau disponible. On les emploie pour les tubercules, racines, etc.

Ces appareils ont le défaut de fonctionner par intermittence et présentent le double inconvénient de produire des engorgements ou bien de ne pas laisser aux matières transportées une durée de contact avec l'eau suffisante pour être détrempés.

L'auteur y remédie à la féculerie de Chalon-sur-Saône par des perfectionnements consistant à pratiquer, de distance en distance, sur les parois latérales des rainures où s'encastrent des plaques de tôle mobiles moins hautes que le conduit du transporteur, de manière à former déversoir; l'entraînement des tubercules devient régulier, et par suite, plus lent, et ceux-ci restent plus longtemps en contact avec l'eau, ce qui permet à la terre mieux détrempée de se détacher plus facilement pendant la translation.

Etude comparée des **procédés d'analyse employés dans le dosage du carbone** contenu dans le fer, par le professeur WALTHER HEMPEL. (Traduit du *Verhandlungen des Vereins zur Beforderung des gewerbefleiss.*)

Le nombre des méthodes proposées pour le dosage du carbone dans le fer est très considérable. L'auteur les examine successivement en les classant dans trois catégories :

I. Les méthodes dans lesquelles le carbone est séparé du fer par les dissolvants appropriés, puis dosé par combustion, méthodes de Berzelius, méthode de Berzelius modifiée par Pearse et Greath, méthodes de Boussingault, d'Eggertz, de Berthier, de Saernshœm;

II. Les méthodes où le fer est séparé par volatilisation à une température élevée, méthodes de Berzelius et Wœhler et de Deville;

III. Les méthodes où le fer est directement soumis à la combustion sans séparation préalable du carbone, méthodes de Berzelius, de Re-

gnault, de Kudernatsch, de Bruner-Gwelin, de Wiborgh, Reis, Thœrner, Lunge et Maschlewski.

Cette dernière est la plus à recommander et l'auteur a été conduit, en la modifiant, à une nouvelle méthode qu'il décrit.

Le fer est attaqué, en présence du mercure, par un mélange d'acide chromique, d'acide sulfurique et d'eau dans un appareil où l'air est raréfié; le mélange gazeux formé d'air, d'oxygène et d'acide carbonique est mesuré, puis l'acide carbonique est déterminé volumétriquement par absorption dans une lessive de soude. On emploie pour ces opérations un appareil spécial, formé d'une éprouvette à gaz, d'un ballon et d'un appareil absorbant.

Sur les **récipients pour gaz comprimés en acier sans soudure,** par Ch. Burg. (Traduit du *Verhandlungen des Vereins zur Beforderung des gewerbefleiss.*)

L'emploi des récipients métalliques pour contenir des gaz sous pression élevée est devenu assez fréquent. Les premiers appareils ont été faits en Angleterre. Les Anglais ont envoyé en Afrique des réservoirs de 2,40 *m* de longueur et 0,13 *m* de diamètre extérieur, contenant de l'hydrogène comprimé à 130 *atm*, destiné à gonfler des ballons militaires.

L'emploi de l'acide carbonique liquide a donné un grand essor à cette fabrication. Il existe plus de 150 000 de ces réservoirs en Allemagne. Ces bouteilles étaient soudees; aujourd'hui on les fait sans soudure. Il y a plusieurs fabriques dont deux à Birmingham et plusieurs en Allemagne, on opère par emboutissage et étirage. Le procédé Mannesmann est aussi appliqué avec succès à cette fabrication. On fait avec ce procédé des bouteilles de 180 et 203 *mm* de diamètre extérieur et d'une longueur quelconque jusqu'à 8 *m* qui résistent couramment à 250 *atm*; elles ne cèdent guère qu'à 400. Le métal est très ductile; projetées de 6 *m* de hauteur sur des rails, elles ne laissent pas perdre de gaz et se bossellent simplement. On arrive très bien à faire en bronze dur des robinets qui résistent parfaitement à ces pressions.

Fabrication de la poudre de bronze, par M. Dunlop. (Traduit des *Reports from the Consuls of the United States.*)

La poudre de bronze se fabrique surtout en Bavière, dans de petites usines où la force est fournie par l'eau. L'alliage de cuivre, étain, zinc et antimoine est coulé en barre qu'on passe au laminoir pour les amincir. On les coupe et on les martèle à la dernière limite avec des marteaux mécaniques. Les feuilles minces sont ensuite découpées en copeaux et broyées par des pilons. On crible pour séparer les diverses grosseurs de poudre. Le prix varie suivant la finesse de 3 à 8 *f* le kilogramme.

Prix offerts pour 1894 par la Société Néerlandaise pour le progrès et l'industrie. — Cette Société, dont le siège est à Haarlem, offre une médaille d'or et 700 *f* au meilleur mémoire pour l'étude des moyens propres à obtenir la force motrice avec les moulins à vent, l'emmagasiner dans des accumulateurs électriques, la transmettre ou la rendre transportable par d'autres moyens.

Elle demande en particulier une réponse aux questions suivantes :

1° Quelle est, en moyenne, l'énergie qu'un moulin à vent peut fournir par jour de vingt-quatre heures à un accumulateur électrique; quelle est l'installation nécessaire à cet effet, et quel est le prix, en ce cas, d'un cheval-heure;

2° Est-il possible, au point de vue économique, d'appliquer les nouveaux moteurs sur une vaste échelle pour accumuler et pour utiliser l'énergie du vent dans l'industrie?

Concours pour la création d'un bon type de masque-respirateur contre les poussières. — L'Association des industriels de France contre les accidents du travail, 3, rue de Lutèce, a ouvert un concours pour la création d'un bon type de masque-respirateur contre les poussières, comme elle l'a fait déjà, avec succès, pour la création d'un type de lunettes d'atelier.

ANNALES DES MINES

3me livraison de 1894.

Aperçu général sur l'**industrie minérale de la Russie,** par M. A. DE KOPPEN, membre du Conseil général des mines de Russie *(suite et fin).*

Cette seconde partie est consacrée à l'étude des combustibles minéraux ; d'abord la houille exploitée dans une dizaine de bassins qui produisaient, en 1891, un peu plus de 6 millions de tonnes et ne suffisaient pas à la consommation du pays, qui atteignait la même année 7 1/2 millions de tonnes. C'est le bassin du Donetz qui a la plus forte production, la moitié à lui seul de la production totale; après vient la Pologne pour 2 1/2 millions, les huit autres bassins ne donnent ensemble que les 500 000 *t* qui restent. Ces divers bassins sont étudiés en détail dans la note. Celle-ci s'occupe ensuite du sel qui existe en Russie sous les trois formes de sel gemme, de lacs salins et de sources salées, puis du pétrole dont l'extraction a pris, comme on sait, une très grande importance. 4 750 000 *t* en 1891 ; alors qu'elle n'était que de 827 000 *t* en 1882, de l'exploitation du soufre dont la production ne dépasse pas un millier de tonnes et qui est concentrée dans les environs de la mer Caspienne. La note se termine par des renseignements sur le graphite, les pierres précieuses, les matériaux de construction et les sources thermales.

Loi sur les mines pour la Pologne russe. — Notice et traduction, par M. J. ICHON, Ingénieur en chef des mines.

Il s'agit d'une nouvelle loi, en date des 28 avril-10 mai 1892, édictée pour régler le régime des exploitations des mines dans la Pologne russe, la loi des 16/28 juin 1870 qui régissait ces exploitations étant devenue insuffisante depuis l'énorme développement qu'elles ont pris.

4e livraison de 1894.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers en 1892 et 1893.

La production totale des combustibles minéraux s'est élevée, en 1893, à 25 738 073 *t*, en diminution de 440 628 sur l'année 1892. Sur ce total, il y a 25 249 731 *t* de houille et anthracite et 488 342 de lignite. La presque totalité de ce dernier provient du bassin du Fuveau et, pour la houille, le Nord et le Pas-de-Calais ont fourni près de 13 1/2 millions de tonnes, au lieu de 14 1/2 pour l'année 1892; après vient la Loire avec 3 1/2 millions, chiffre très peu différent de celui de l'année précédente.

La production des fontes s'est élevée, en 1893, à 2 032 567 *t* en diminution de 24 691 *t* sur la production de 1892. Sur le total, il y a 2 010 109 *t* de fonte au coke, 6 125 de fonte au bois et 16 333 de fonte mixte.

A un autre point de vue, le total se partage en 1 551 131 *t* de fonte d'affinage, 481 436 de fonte de moulage et moulée en première fusion. Meurthe-et-Moselle vient en tête avec 1 215 305 *t*, après le Nord avec 235 280 *t*, Saône-et-Loire avec 80 000, le Pas-de-Calais avec 78 000 et les Landes avec 71 000.

La production totale des fers a été, en 1892, de 829 851 *t* en augmentation très faible, 1 332 *t* sur la production de 1892. Le total se divise en 705 876 *t* de fer puddlé, 10 611 de fer affiné au charbon de bois et 113 364 *t* de fer obtenu par réchauffage de vieux fers et riblons. Cette dernière catégorie va toujours en diminuant, elle comptait pour 125 600 en 1892 et 127 500 en 1891. Le département de la Seine entre dans le total pour 28 000 *t* en 1892 contre 30 700 en 1892, 31 800 en 1891 et 32 400 en 1890. Il y a une décroissance continue bien marquée.

La production des rails en fer a un peu augmenté; elle a été de 874 *t* en 1893 contre 408 *t* en 1892 et 514 en 1891.

La production totale d'aciers Bessemer et Siemens Martin en lingots a été, pour 1893, de 803 063 *t* en diminution de 22 423 sur la production de 1892. La production des aciers ouvrés a été de 668 665 *t* également en diminution de 13 862 *t* sur celle de 1892. Les rails figurent sur ce chiffre pour 218 011 *t* en diminution de 11 827 *t* sur l'année précédente. Les tôles entrent pour 121 653 *t* en diminution de 7 000 *t* sur 1892. La fabrication de l'acier cémenté est en légère augmentation et celle de l'acier fondu au creuset et de l'acier obtenu par rechauffage de vieil acier, au contraire, en diminution sur 1892.

Nous devons faire observer ici que les augmentations ou diminutions de la production de tel ou tel article par rapport à l'année précédente n'ont qu'une valeur relative, parce que dans les tableaux dont nous nous occupons ici, les chiffres de l'année ne sont que provisoires, tandis que les chiffres de l'année précédente sont définitifs. Il se peut que, si les différences sont faibles, leur sens se trouve renversé par l'établissement des valeurs définitives.

Revue de mécanique appliquée. — Pneumatique, par M. Ed. Sauvage, Ingénieur des mines, professeur à l'École nationale supérieure des mines.

Cette revue donne, sous une forme condensée, tout ce qui concerne les applications de la pneumatique, à l'exception de la puissance du vent et des appareils fonctionnant par entraînement de l'air et des gaz.

Elle traite du tracé des courbes de détente, du mouvement permanent des gaz, frottements, écoulement, mouvement dans les conduites, etc., circulation de l'air dans les galeries de mines, tirage des cheminées, ventilateurs, machines soufflantes, compresseurs, transmission par l'air comprimé et par l'air raréfié. Une bibliographie adjointe à la note renvoie à de nombreuses sources originales. Ce travail dû à une plume éminemment compétente présente un grand intérêt. On se souvient que le même auteur avait donné, il y a quelques années, une revue analogue pour la mécanique appliquée.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

District du Nord et du Pas-de-Calais

Réunion du 25 février 1894, à Douai.

Communication de M. Breton, sur la **Fosse de Douvres** et **le Congrès des Ingénieurs des mines de la Grande-Bretagne,** tenu à Londres, le 1er juin 1893.

L'auteur donne quelques renseignements sur le sondage effectué à Douvres, pour la recherche de la houille et parvenu à plus de 700 *m* de profondeur. On a trouvé à 675 *m* une veine de 1,20 *m* d'épaisseur, la plus belle connue jusqu'ici du bassin de Douvres. Le sondage a été arrêté définitivement à la profondeur de 708 *m*. On a commencé le puits d'extraction sur un diamètre de 5,16 *m* dans œuvre; le travail se poursuit dans la craie solide. Le terrain houiller commence à 390 *m*.

M. Breton donne ensuite le résumé d'une discussion qui a eu lieu au Congrès tenu à Londres, au sujet de cette question, et reproduit un travail qu'il y a lu, à propos du non-raccordement du bassin de Douvres avec les autres bassins houillers anglais et français. Dans son opinion, ce bassin est indépendant; on peut le constater par la nature différente des fossiles et par la composition de la houille.

Communication de M. Robiaud, sur les **manœuvres automatiques des berlines dans les recettes** aux mines d'Anzin.

Cette note examine deux dispositifs : planchers mobiles des cages et verrous d'arrêt automatique, permettant d'utiliser la gravité pour réaliser économiquement l'encagement des berlines; elle étudie ensuite les pentes à donner aux voies d'une recette intérieure, ce qui l'amène en passant à dire un mot des résistances au mouvement des berlines. Sur

ce dernier point, l'auteur conclut qu'on peut estimer à $0{,}11 \frac{r}{R}$ le coefficient de résistance en ligne droite, r et R étant les rayons de la fusée et de la roue. En courbe, la résistance totale par unité est $f\frac{r}{R} + \frac{f'}{a}$, a étant le rayon de la courbe et f' un coefficient égal à 0,10. La pente d'équilibre dynamique se trouve ainsi en ligne droite égale à $f\frac{r}{R}$, soit pour $r = 0{,}02$ et $R = 0{,}140$ de 0,0157.

Communication de M. Neu, sur **l'emploi des perforatrices électriques.**

La Compagnie Thomson-Houston a étudié une perforatrice à percussion actionnée par l'électricité. L'appareil se compose d'une simple chemise d'acier contenant deux solénoïdes placés bout à bout. Dans l'axe de ces solénoïdes se meut un piston en acier dont l'extrémité constitue le porte-outil. Au moyen d'une génératrice de courant spécial, on peut envoyer dans l'appareil un courant ondulatoire de 220 volts au maximum qui circule alternativement dans le solénoïde inférieur et dans le solénoïde supérieur. La fréquence de ces alternances est de 380 par minute; il résulte des attractions alternatives que le piston prend un mouvement de va-et-vient de 380 battements par minute. C'est le principe de la perforatrice qui a d'ailleurs tous les détails spéciaux des appareils de ce genre. La note décrit ensuite la génératrice spéciale employée.

Ces perforatrices se construisent suivant deux modèles, un de 200 *kg*, perçant des trous de 4 à 7 *cm* et absorbant environ 10 *ch*, l'autre pesant 100 *kg*, perçant des trous de 2 à 4 *cm* et absorbant 6 *ch*. L'avancement dans le granit est d'environ 2 *m* à l'heure. L'auteur fait remarquer que le bassin du Nord et du Pas-de-Calais peut revendiquer l'honneur d'avoir été des premiers à introduire l'emploi de l'électricité dans les mines, non seulement par l'usage de ces perforatrices, mais aussi par celui des locomotives électriques inaugurées à Marles, il y a trois ans, et qui ont été les premières locomotives de ce genre employées en France pour les mines.

RÉUNIONS DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 5 mars 1894.

Programme de la **course géologique de l'École des mines de Saint-Étienne en 1894.**

Cette course, qui aura lieu du 17 au 27 juin, aura pour objet l'étude des Alpes du Dauphiné, du bassin houiller de La Mure, des chaînes calcaires du Varcors et de la Chartreuse, des chaînes cristallines de Belledone, des Grandes-Rousses, et du Pelvoux, etc.

Communication de M. Termier, sur la **production des combustibles minéraux aux États-Unis en 1893.**

D'après une statistique provisoire extraite de l'*Engineering and Mining Journal,* la production totale des Etats-Unis en 1893 aurait été de 166 millions de tonnes, contre 164 en 1892. La consommation a été de 167 millions environ; il a été importé 1 million de tonnes de combustibles étrangers et exporté 3 millions de combustibles américains. On peut croire que, dans peu d'années, les États-Unis dépasseront la Grande-Bretagne dans la production des combustibles minéraux.

Dans les 166 millions indiqués plus haut, la Pensylvanie entre pour 89, soit 54 0/0, l'Illinois pour 17 et l'Ohio pour 13. Le reste, soit 30 0/0, se partage entre une vingtaine d'États.

SOCIÉTÉ INDUSTRIELLE DE MULHOUSE

Bulletin de Mai 1894.

Notice nécrologique sur **M. Henri Thierry-Koechlin,** par M. Auguste Lalance.

Enlevages et réserves sur soie, par M. H. Koechlin.

Note sur **l'acétine,** par MM. Ed. Kopp et Eug. Grandmougin.

L'acétine est un éther de la glycérine qui a la forme d'un liquide dense et dont les propriétés dissolvantes sont utilisées dans l'impression sur étoffes. Elle contient toujours de l'acide acétique libre et une méthode facile de déterminer la proportion d'acide combiné et d'acide libre a une grande importance. L'acétine est spécialement indiquée comme dissolvant pour les colorants basiques.

Note sur la **formation du vert de résorcine,** sur tissus de coton, de laine et de soie, par M. Pokorny.

Notes et documents sur l'**Exposition de Chicago,** par M. C. Pierron *(suite).*

Cette partie concerne l'électricité. Après avoir indiqué le développement considérable de cette industrie aux Etats-Unis et les raisons qui expliquent la différence de ce développement avec celui qu'on peut constater en Europe, l'auteur examine en détail le service électrique de l'Exposition qui représentait un ensemble de 13 000 kilowatts, dont environ 6 500 pour l'éclairage à incandescence, 3 500 pour l'éclairage à arc et 3 000 pour le transport de force et décrit le chemin de fer intérieur de l'Exposition, chemin de ceinture de 5 *km* de développement établi à une hauteur de 6 à 9 *m* au-dessus du sol, avec double voie. Le courant est amené par un conducteur latéral et fait retour par les rails. Les trains de 4 wagons y circulaient à des intervalles de 4 minutes. Le premier de ces wagons était seul moteur; il a une dynamo sur chacun

de ses 4 essieux divisés en 2 bogies. La marche du train se règle avec trois combinaisons : 1° les quatre moteurs en série, avec ou sans résistance ; 2° les moteurs en parallèle par groupes de deux, avec ou sans résistance ; 3° les quatre moteurs en parallèle ; on peut ainsi, grâce à l'emploi de 4 moteurs, subdiviser assez l'effort pour éviter la détérioration des machines. Le démarrage se fait toujours avec les quatre moteurs en série.

La station centrale contient trois génératrices dont chacune est suffisante pour assurer le service. L'une d'elles, la plus grande, est de 1 500 kilowatts, à 12 pôles ; elles est calée directement sur l'arbre d'une machine à vapeur développant 2 000 *ch* à 80 tours par minute.

Bulletin d'Avril 1894

Mulhouse et le Sundgau (1) avant l'histoire. — Conférence faite à la séance de la Société industrielle, le 28 février 1894, par M. Mathieu Mieg.

L'auteur indique à grands traits quelles ont été les principales transformations du sol dans la région de Mulhouse aux périodes géologiques, et, après avoir esquissé les derniers changements que le Sundgau doit à la période quaternaire, résume rapidement le peu que nous savons sur les temps préhistoriques en Alsace et les races qui ont habité le pays.

Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur. — Rapport de M. Walther-Meunier, Ingénieur en chef, sur les travaux exécutés sous sa direction pendant l'exercice 1893.

Ce rapport est, comme d'habitude, des plus intéressants ; nous citerons un essai fait sur des chaudières de Naeyer fonctionnant dans des circonstances exceptionnelles de combustion et vaporisation lentes ; on brûlait 38,83 *kg* de combustible par mètre carré de grille et on produisait 5,83 *kg* de vapeur par mètre carré de surface de chauffe ; la vapeur était absolument sèche, mais le rendement n'était que de 6,5 *kg* de vapeur par kilog. de houille brute sèche (Chatelineau lavé à 12 0/0 de déchet).

Nous citerons encore une curieuse statistique des chaudières inscrites à l'association, de laquelle il ressort que sur 2 098 chaudières, il y en avait 637, soit 30 p. 100, ayant plus de 25 ans d'âge, dont une avait 60 ans, 4 de 55 à 60, 11 de 50 à 55, 10 de 45 à 50, 56 de 40 à 45, 108 de 35 à 40, 189 de 30 à 35 ans et 258 de 25 à 30. Les mêmes statistiques indiquent que, sur 100 chaudières, 71,55 p. 100 sont à foyer extérieur et grand volume d'eau, 20 p. 100 sont à foyer intérieur, tubulaires ou non et 4.67 p. 100 seulement multitubulaires avec eau dans les tubes.

On trouvera des détails intéressants sur un certain nombre de désincrustants.

(1) Le Sundgau est une ancienne dénomination d'une partie de la Haute-Alsace voisine de Mulhouse et comprenant ce qui forme aujourd'hui l'arrondissement de Belfort, en France, et les cercles de Thann et d'Altkirch, en Alsace.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS

N° 18. — *5 mai 1894.*

Les locomotives compound en Amérique, par E. Bruckmann *(suite).*

Distribution d'eau de Grossenhain, par M. Meuzner.

Le nouveau pont de la Tour à Londres, par G. Barkhausen *(fin).*

Machines à colonne d'eau pour extraction et épuisement dans les mines, par R. Weindorfer.

Machine à vapeur à triple expansion, par Sulzer frères.

Groupe de Francfort. — Différence au point de vue physiologique entre les sources lumineuses à combustion et la lumière électrique à arc. — Industrie de l'extraction de l'or et du diamant dans le sud de l'Afrique.

Groupe de Hanovre. — Elévateur à courant d'eau. — Dépense de gaz des moteurs à gaz. — Moyens de protection contre la poussière et les gaz pernicieux.

Groupe de Westphalie. — Eclairage électrique des voitures de chemins de fer. — Nouvelle construction des chaudières.

Bibliographie. — Le nivellement, par F. Lorber.

Variétés. — Chemin de fer tubulaire sous-marin entre la France et l'Angleterre. — Emploi du pétrole contre les incrustations des chaudières. — Mesure des hautes températures. — Réunion annuelle de l'Association des électro-techniciens allemands.

Correspondance. — Machines soufflantes et compresseurs.

N° 19. — *12 mai 1894.*

Les machines-outils de l'Exposition de Chicago en 1893, par W. Hartmann *(suite).*

Installations frigorifiques en Amérique, par M. F. Gutermuth *(suite).*

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture, par M. Eyth.

Marteau-pilon à gaz et à pétrole de Banki et Czonka, par Donath Banki.

Augmentation du travail des poutres de pont par l'action du vent, par P. Grubeck.

Groupe de Francfort. — L'instruction technique en Amérique.

Groupe de Cologne. — But et efficacité des associations de défense des industriels en Allemagne.

Variétés. — Réglage automatique du tirage des chaudières de E. Hotop.

Correspondance. — Installations de turbines à la filature de coton de Mulhausen a.-N.

N° 20. — *19 mai 1894.*

Eclairage électrique de la gare de Wurtzbourg, par A. Bauerfeind.

Machines-outils à l'Exposition de Chicago en 1893, par W. Hartmann *(suite)*.

Etablissements d'instruction technique en Amérique, par A. Riedler *(suite)*.

Les machines agricoles à l'Exposition de la Société allemande d'agriculture, par M. Eyth *(fin)*.

Clapet automatique de fermeture pour conduites de vapeur, par R. Koch.

Groupe d'Aix-la-Chapelle. — Compteur à gaz de Arndt et régulateur de pression de Horenz.

Variétés. — Recueil d'installations de chaudières à vapeur. — Machines pour la préparation mécanique des minerais pour le Transvaal.

N° 21. — *26 mai 1894.*

Etablissements d'instruction technique en Amérique, par A. Riedler *(fin)*.

Installations d'épuisement aux houillères de Oberhohndorf-Schader, par V. Neukrich.

Travail moyen d'un ouvrier, par F.-V. Rziha.

Machines-outils pour le travail des bois à l'Exposition de Chicago en 1893, par A. Fischer *(suite)*.

Groupe de Bavière. — Chauffage par l'électricité.

Bibliographie. — Encyclopédie des sciences naturelles.

Variétés. — Explosions de chaudières. — Les chemins de fer allemands dans l'exercice 1892-93.

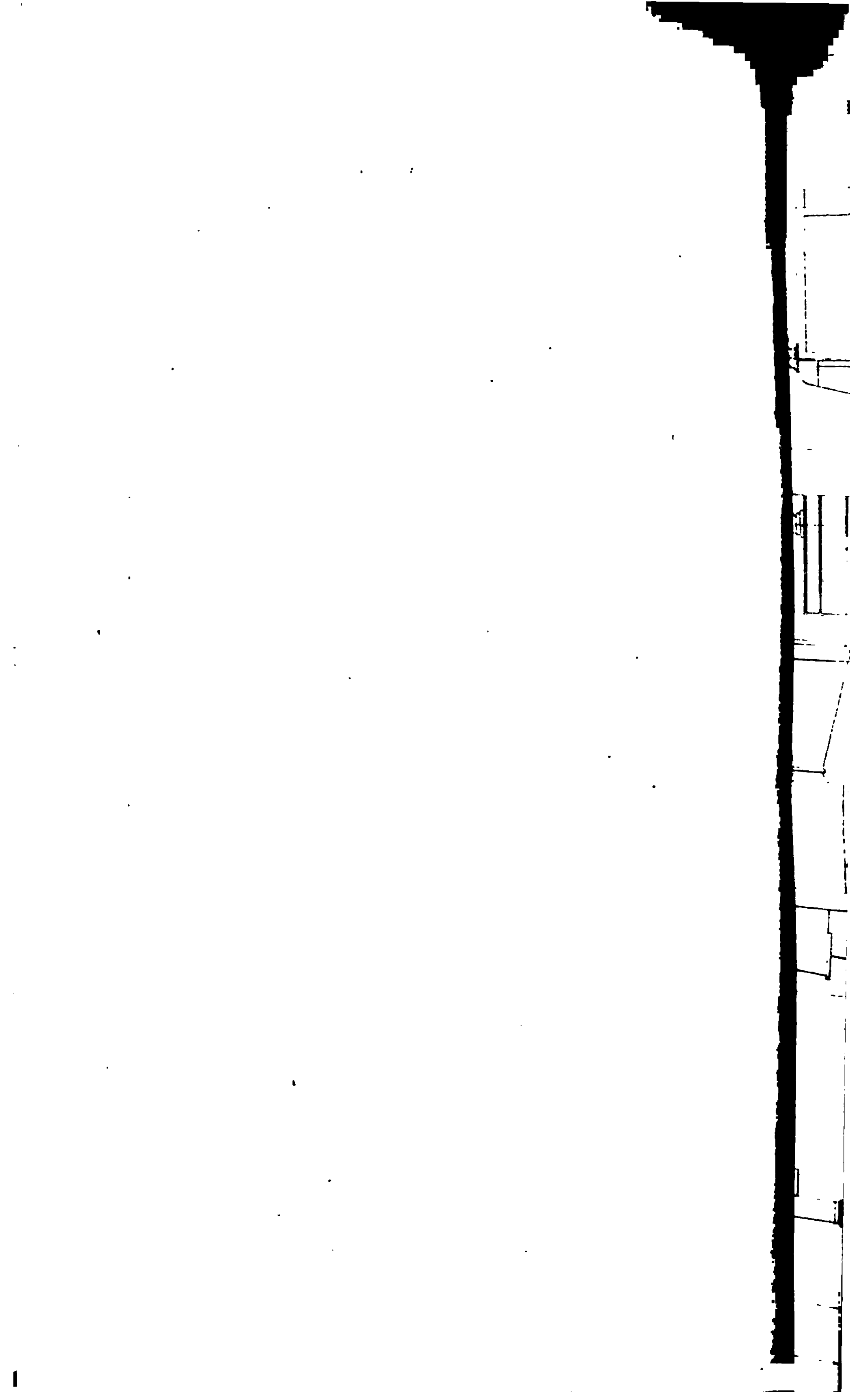
Pour la Chronique et les Comptes rendus :

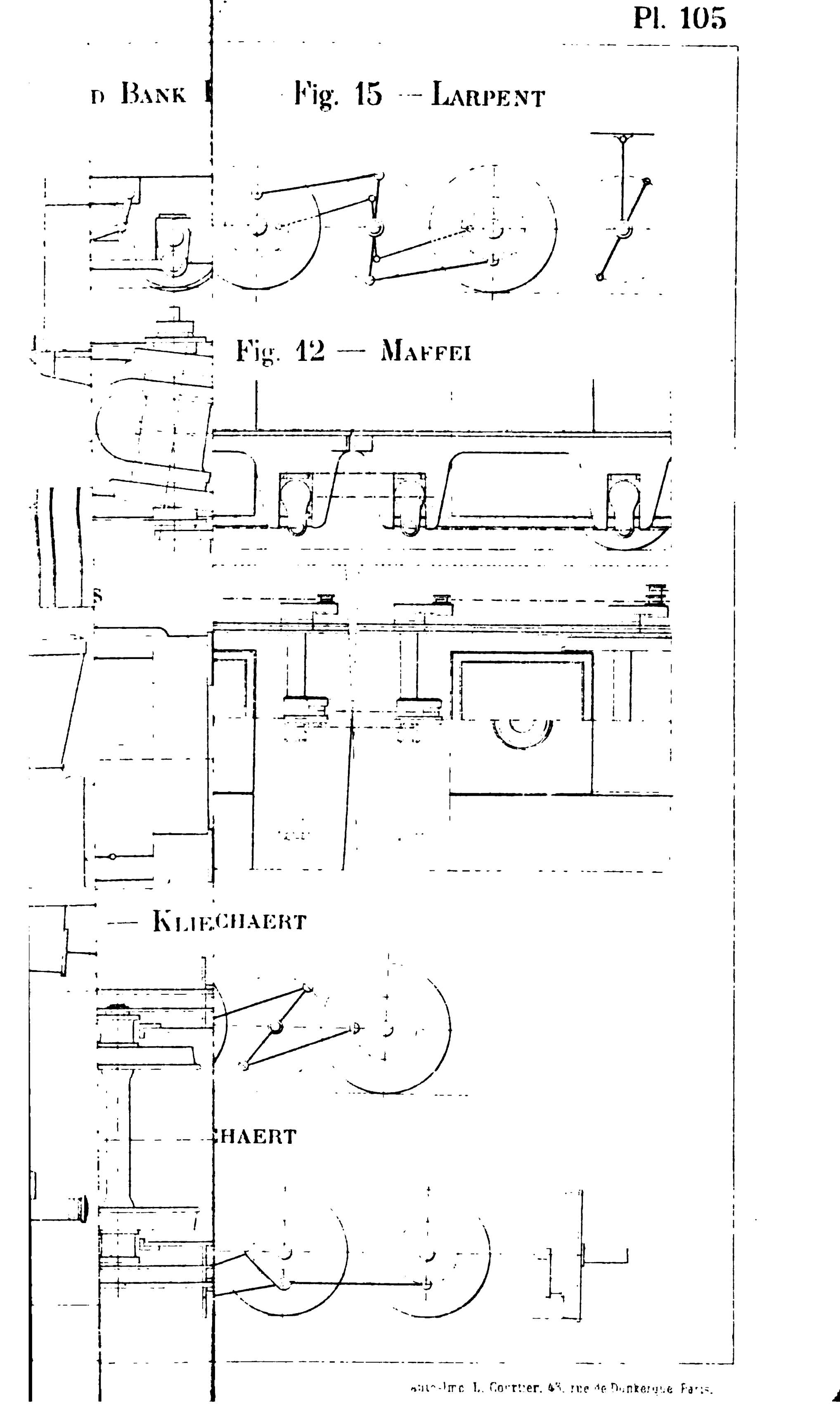
A. MALLET.

Le Secrétaire Général, Gérant responsable,

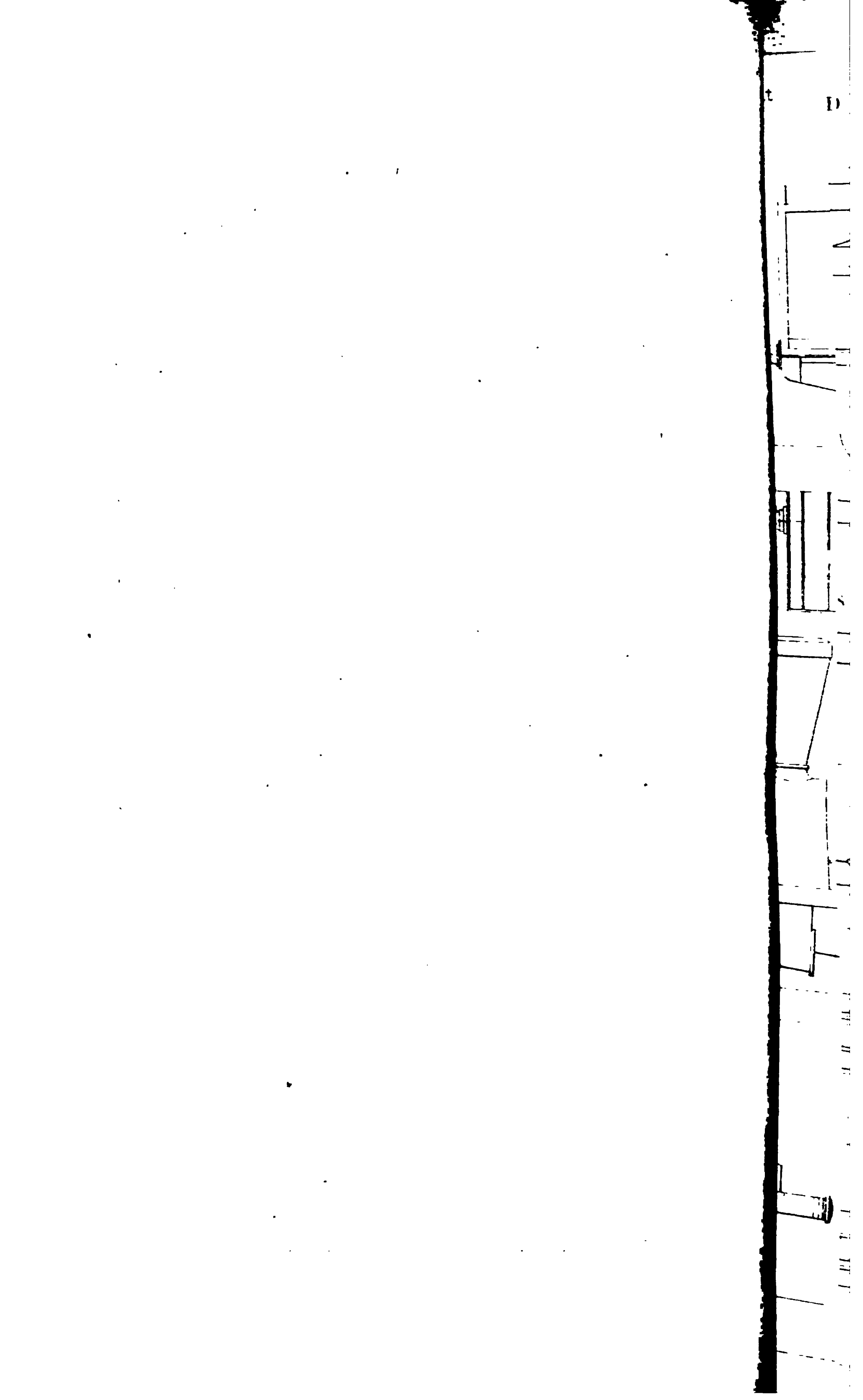
A. DE DAX.

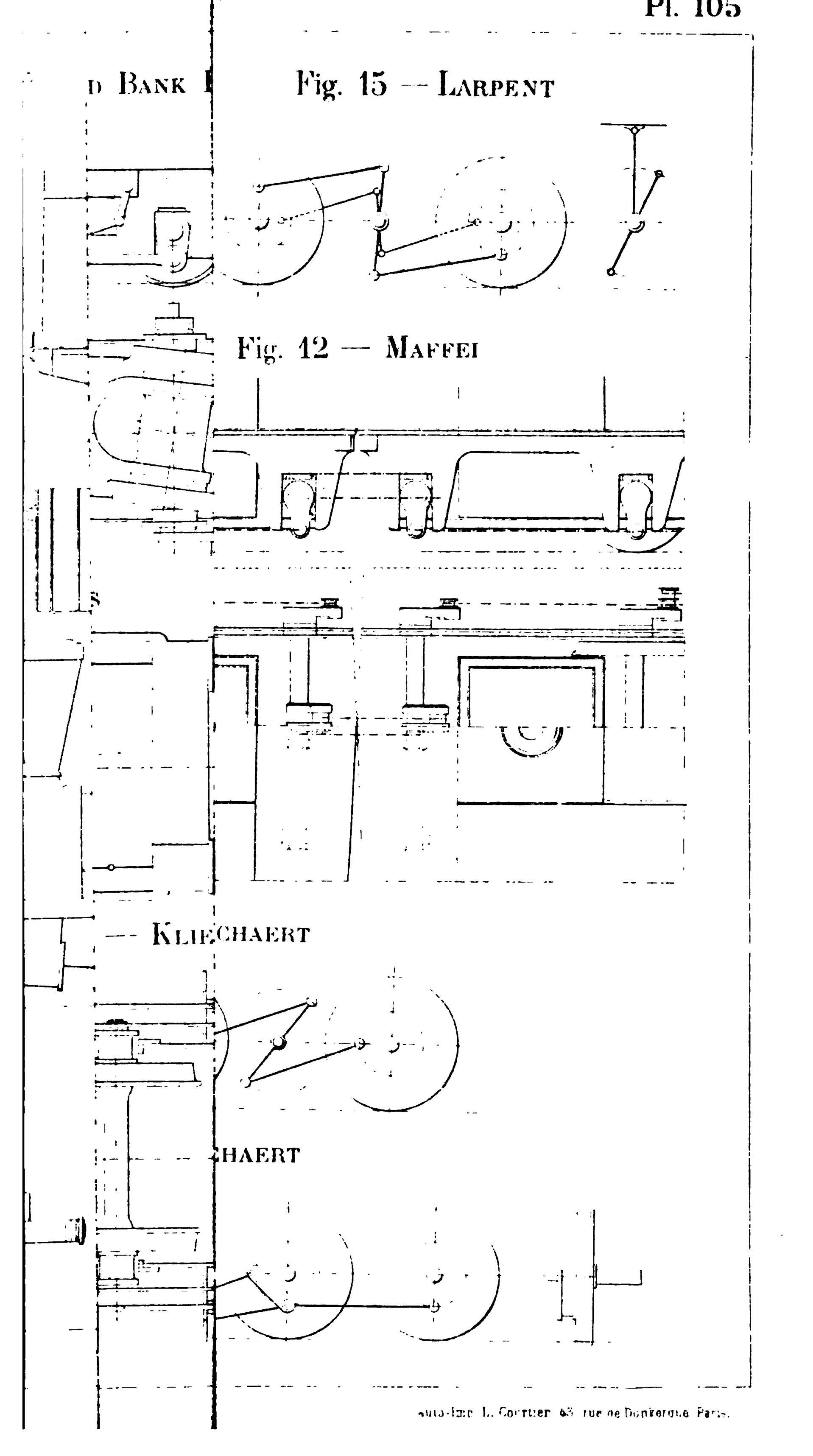
IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 12166-6-94. — (Encre Lorilleux).





Autog. Imp. L. Courtier, 43, rue de Dunkerque Paris.





Auto-Imp. L. Courtier 43 rue de Dunkerque Paris.

MÉMOIRES

ET

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS DE FRANCE

BULLETIN

DE

JUIN 1894

Nº 6.

Sommaire des séances du mois de juin 1894 :

1º *Décès* de MM. P.-E. Mauguin, P.-G. Jarre. (Séance du 1er juin), page 670 ;

2º *Congrès de navigation intérieure* à La Haye, en juillet 1894. (Séance du 1er juin), page 671 ;

3º *Voyage en Belgique et à l'Exposition d'Anvers* (Avis d'un). (Séance du 1er juin), page 671 ;

4º *Régularisation du Danube* (Lettre à propos de la), de M. Th. de Goldschmidt. (Séance du 1er juin), page 671 ;

5º *Médaille gravée à l'effigie de M. G. Loustau,* Trésorier honoraire de la Société. (Séance du 1er juin), page 673 ;

6º *Air comprimé aux tramways de Paris* (Application de la traction à), et visite à l'usine de la Compagnie des Omnibus, pour la compression de l'air, à Boulogne-sur-Seine, par M. Chatard. (Séances des 1er et 15 juin), pages 674 et 691 ;

7º *Alimentation des générateurs par refoulement d'eau dans la vapeur*, observation sur le dispositif, par M. A. Carcenat. (Séance du 1er juin), page 677 ;

8º *Pompes centrifuges Farcot à grand débit* (Application au desséchement des marais de Fos des), par M. L.-G. Louisse, et observations de MM. A. Brüll, Badois, Marboutin, J. Fleury, Carcenat, Aug. Moreau, L. Appert, D.-A. Casalonga, A.-L Dumont et Paul Farcot. (Séances des 1er et 15 juin), pages 677 et 689 ;

9° *Situation financière de la Société* (Compte rendu de la), par M. H. Couriot, Trésorier de la Société. (Séance du 15 juin), page 681 ;

10° *Prix annuel* (Médaille d'or), décernée à M. M.-L. Langlois. (Séance du 15 juin), p. 687 ;

11° *Prix Nozo*, décerné à M. E. Bertrand de Fontviolant. (Séance du 15 juin), page 687 ;

12° *Décorations*. (Séance du 15 juin), page 690 ;

13° *Congrès des Sociétés Savantes* (Date du). (Séance du 15 juin), page 690 ;

14° *Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences* (Date du). (Séance du 15 juin), page 690 ;

15° *Congrès de Chimie appliquée, à Bruxelles*. (Séance du 15 juin), page 690 ;

16° *Délégué de la Société pour assister à la réunion du Polytechnicum de Zurich* (Désignation d'un). (Séance du 15 juin), page 690 ;

17° *Jauge internationale* (Lettre de M. Egleton au sujet d'une). (Séance du 15 juin), page 690 ;

18° *Exposition universelle de 1900* (1re réunion de la Commission supérieure de l'). (Séance du 15 juin), page 691.

19° *Guide pratique d'électricité industrielle* de MM. G. Dumont et Baignères; analyse de l'ouvrage par M. P. Buquet. (Séance du 15 juin), page 691 ;

20° *Musée de photographie documentaire*, par M. Aron. (Séance du 15 juin), page 692 ;

21° *Exposition d'Anvers* (L'), par M. F.-L. Barbier. (Séance du 15 juin), page 693.

Mémoires contenus dans le Bulletin de juin 1894 :

22° *De l'origine des courants atmosphériques et marins. — Théorie et appareils de Mgr Rougerie. Influence prépondérante de la rotation du Globe.* par M. A. Baudon de Mony, page 696 ;

23° *Alimentation des générateurs par refoulement d'eau dans la vapeur, observations sur le dispositif*, par M. A. Carcenat, page 724 ;

24° *Note sur l'application, au desséchement des marais de Fos, des pompes centrifuges Farcot à grand débit*, par M. G.-L. Louisse, page 728 ;

25° *Notice nécrologique sur P.-E. Mauguin*, par A. Mallet, page 762 ;

26° *Chronique n° 174*, par M. A. Mallet, page 766 ;

27° *Comptes rendus*, id. page 779 ;

28° *Erratum* au Bulletin de mai 1894, page 792.

29° *Planches* nos 108, 109, 110, 111 et 112.

Pendant le mois de juin 1894 la Société a reçu :

33905 — De M. D.A. Casalonga (M. de la S.). *Rapport à l'Assemblée générale de l'Association des Inventeurs et des Artistes industriels, tenue le dimanche 1er avril 1894* (in-8° de 16 p.). Paris, 1894.

33906 — Du Canadian Institute. *Seventh Annual Report of the Canadian Institute. Session 1893-4. Being Part of Appendix to the Report of the Minister of Education, Ontario.* Toronto, 1894.

33907 — De M. Berlier (M. de la S.). *Tramways tubulaires de Paris. Ligne du Bois de Vincennes au Bois de Boulogne. Notice sur le tramway tubulaire électrique* (in-4° de 16 p. et 9 pl.). Paris, 1894.

33908 — De M. Delachanal (M. de la S.). *Ville du Havre. Commission technique d'assainissement. Procédé Hermite. Rapports présentés au nom de la Commission technique d'assainissement*, par MM. Neveu, Loviton et Delachanal (in-4° de 56 p.). Havre, Micaux, 1894.

33909 — Du Congrès des Ingénieurs et des Architectes de Palerme. *Atti*
à *del Congresso degli Ingegneri e degli Architetti in Palermo nel 1892*
33911 (3 volumes grand in-8°). Palermo, 1892 et 1893.

33912 — De M. F. Hérard (M. de la S.). *Les canalisations d'éclairage électrique. Documents officiels (décrets, circulaires et ordonnances)*, par MM. F. Hérard et Ch. Sirey (in-8° de 456 p.). Paris, Marchal et Billard, 1894.

33913 — De M. Ch. Marteau (M. de la S.). *Rapport sur l'industrie lainière à l'Exposition de Chicago* (in-8° de 75 p.). Reims, A. Marguin, 1894.

33914 — De MM. J. Nyssens-Hart et J. Zone. *Le Port de vitesse de Heyst* (in-8° de 120 p. avec 3 pl.). Bruxelles, A. Lesigne, 1894.

33915 — De la Compagnie du chemin de fer du Nord. *Assemblée générale du 25 avril 1894. Rapport présenté par le Conseil d'administration*. Lille, L. Danel, 1894.

33916 — De MM. Gauthier-Villars et fils. *Étude expérimentale dynamique de la machine à vapeur*, par Dewelshauvers-Dery (petit in-8° de 183 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33917 — Du même. *Électricité appliquée à la marine*, par P. Minel (petit in-8° de 203 p.). Paris, Gauthier-Villars et fils, 1894.

33918 — De M. L. Langlois (M. de la S.). *Forges et aciéries du Donetz, à Droujkowka (Russie). Halle de laminage. Ensemble des bâtiments* (une feuille). 1894.

33919 — De M. Ed. Badois (M. de la S.). *Commission d'utilisation des eaux d'égout. Note présentée au Sénat sur les amendements demandés par les agriculteurs à la loi d'assainissement de la Ville de Paris* (une feuille in-8° de 4 p.). Paris, Noizette.

33920 — De M. J. Fleury (M. de la S.). *Le Port de vitesse de Heyst*, par MM. J. Nyssens-Hart et J. Zone (in-8° de 120 p. avec 3 pl.). Bruxelles, A. Lesigne, 1894.

33921 — De l'American Society of Civil Engineers. *International Enginee-*
et *ring Congress, Chicago, 1893. Papers read before. Division A. Civil*
33922 *Engineering. Part. I et Part. II* (2 vol. in-8°). New York, 1893.

33923 — De M. Berger-Levrault et Cie. *Lexique géographique du monde entier*, par E. Levasseur, J. V. Barbier et Anthoine (1er et 2e fascicules format grand in-8°). Paris, Berger-Levrault et Cie, 1894.

RÉSUMÉ

DES

PROCÈS-VERBAUX DES SÉANCES

DU MOIS DE JUIN 1894

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 1er JUIN 1894

Présidence de M. J. Fleury, Vice-Président.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la dernière séance est adopté.

M. le Président a le regret d'annoncer le décès de MM. :

Mauguin (P.-E.), membre de la Société depuis 1863. Entré, à sa sortie de l'École centrale, dans la maison Joret, M. Mauguin y avait fait toute sa carrière dans la pratique des travaux métalliques et des grands travaux publics et était parvenu à une haute situation industrielle. Il était Président du Conseil d'administration de la Société des ponts et travaux en fer, Administrateur des Chemins de fer de l'Hérault et de la Société des anciens établissements Cail, etc. M. A. Mallet, qui était camarade de promotion de M. Mauguin, a l'intention de donner dans le bulletin une notice sur la vie et les travaux de ce collègue distingué. M. Mauguin était Chevalier de la Légion d'honneur.

Jarre (P.-G.), membre de la Société depuis 1883, a été Directeur gérant des mines d'Ornans et Ingénieur civil.

M. le Président signale, parmi les ouvrages reçus, l'ouvrage de M. Hérard sur *les canalisations d'éclairage électrique*, au point de vue de la législation et de la jurisprudence. C'est un recueil très nouveau pour lequel M. Hérard a eu la collaboration d'un légiste, dont le nom est célèbre dans les arrêts : M. Charles Sirey, avocat à la Cour d'appel. Il faut espérer qu'un de nos collègues nous rendra compte un jour de ce travail.

M. le Président signale en même temps :

Un *Traité théorique et pratique des courants alternatifs industriels*, de MM. R. Bouquet et F. Loppé ; ce dernier est un de nos collègues. Cet ouvrage, qui nous a été donné par MM. Bernard et Cie, éditeurs, est d'un grand intérêt et il est à désirer que l'un de nos collègues veuille bien nous en faire un résumé ;

Les rapports des Congrès de l'Exposition de Chicago en 1893. Ce recueil,

qui est composé de deux volumes, demande une étude considérable et on doit souhaiter également qu'un membre de la Société en rende compte devant elle ;

Un ouvrage ayant pour titre *le Port de vitesse de Heyst* et dû à deux Ingénieurs belges, MM. J. Nyssens-Hart et J. Zone. Cet ouvrage indique les conditions que doivent réaliser aujourd'hui les ports qui veulent avoir la clientèle des navires rapides et à marche régulière, comme les paquebots de voyageurs et les paquebots postaux. Il y a là, sur les conditions actuelles de la navigation maritime, des vues nouvelles sur lesquelles aussi il y aurait lieu de revenir;

Enfin, le *Lexique géographique du monde entier*, dont l'auteur est M. Levasseur, c'est tout dire ; la Société a reçu les deux premiers fascicules. C'est un ouvrage, qui s'annonce comme devant être très complet, très à jour et de nature à donner beaucoup de renseignements à ceux qui ont besoin de savoir ce qui se passe hors de chez nous, et on peut dire que c'est tout le monde aujourd'hui qui éprouve ce besoin.

M. le Président rappelle le Congrès de navigation intérieure qui doit se tenir à La Haye, vers la fin du mois de juillet. Il y aura, comme d'habitude, des communications et des excursions. On trouvera au secrétariat les imprimés que le Comité d'organisation a envoyés. Personnellement, M. le Président s'intéresse vivement à ce congrès et le recommande très chaleureusement à ses collègues.

Cette réunion sera précédée du voyage que doit faire, comme on sait déjà, la Société en Belgique. Dans ce voyage, on verra Liège et les principales usines de la région et on reviendra à Anvers dont on visitera l'Exposition. Cette excursion se terminera le dimanche 22 juillet, tandis que le Congrès de La Haye s'ouvrira le lundi 23 juillet. Les dates sont donc combinées pour qu'on puisse assister à ces deux fêtes de la science et de l'industrie et, en même temps, faire avec des collègues, des camarades, des excursions où les membres de la Société seront très bien reçus. La seconde circulaire, qui était encartée dans le procès-verbal de la séance du 15 mai, avait pour but d'inviter ceux qui ont l'intention de prendre part à ce voyage, à en prévenir le plus tôt possible le secrétariat. Il est nécessaire qu'on sache à l'avance le nombre des membres qui suivront l'excursion pour prendre les mesures relatives aux logements et aux transports et aussi pour aviser les Ingénieurs belges qui se proposent d'organiser une de ces réceptions confraternelles dont on connaît déjà, par ce qui s'est passé autrefois, tout l'agrément et le bon effet.

M. le Président donne lecture d'une lettre de M. le Chevalier Th. de Goldschmidt, membre correspondant de notre Société à Vienne, et informant la Société que des travaux fort importants vont être mis en adjudication.

Cette lettre est ainsi conçue :

« Vienne, le 3 juin 1894.

» Monsieur le Président,

» Je viens vous informer d'un travail fort important qui va s'exécuter à Vienne. Il s'agit de la transformation d'un bras du Danube (qui porte

M. Chatard présente à la Société une note relative à *l'application de la traction à air comprimé sur les tramways de Paris.*

La Compagnie Générale des Omnibus de Paris achève en ce moment les travaux d'installation de la traction à air comprimé (système L. Mekarski) sur trois des plus importantes lignes de son réseau de tramways, celles :

1° *Du Louvre à Saint-Cloud*, longueur 10,135 *km* ;

2° *Du Louvre à Sèvres et à Versailles*, longueur 19 *km* ;

3° *Du Cours de Vincennes à Saint-Augustin*, longueur 9,140 *km*.

La première doit être desservie à raison de quatre trains par heure, dans chaque sens ; la seconde à raison de deux trains et la troisième à raison de huit trains.

1.— Lignes du Louvre à Saint-Cloud, Sèvres et Versailles :

Le service de ces deux lignes sera fait au moyen de locomotives remorquant un train composé de trois voitures, à impériale couverte, de 51 places chacune, entre le Louvre et la porte du Point-du-Jour. En ce point, le train sera décomposé : une voiture continuera sur Saint-Cloud, deux sur Sèvres et Versailles, l'une d'elles s'arrêtant à Sèvres.

Entre deux trains de Versailles on intercalera un train de deux voitures allant seulement à Saint-Cloud.

Ces prévisions paraissent modestes : il est vraisemblable que l'emploi de la traction mécanique développera le trafic et conduira à séparer les deux services, de façon à faire des trains de trois voitures jusqu'à Sèvres et de deux jusqu'à Versailles.

Les locomotives étudiées spécialement pour cet objet sont à 3 essieux, accouplés et pèsent, en ordre de marche, 18 tonnes, soit 6 tonnes par essieu. Elles auront ainsi l'adhérence nécessaire pour gravir les rampes de Sèvres, dont l'inclinaison atteint 43 *mm* par mètre, en remorquant deux et même trois voitures, le poids de chaque voiture avec son chargement étant de 8 tonnes. Les machines sont d'ailleurs pourvues de sablières pour augmenter l'adhérence lorsque le temps sera défavorable.

Le service des deux lignes, dans les conditions définies ci-dessus, comportera journellement 1 865 trains-kilomètres : on aura pour cela 15 locomotives en circulation et 2 en chargement, en tout 17, faisant chacune, en moyenne, 110 *km* par jour. La Compagnie en a commandé 23 pour en avoir, en outre, 3 en réserve : 1 à Boulogne, 1 au Point-du-Jour, 1 à Sèvres, et 3 disponibles pour les réparations.

Ces locomotives dont il n'est pas nécessaire dans cet exposé préliminaire d'aborder la description détaillée, ont été construites sur les plans de M. Mekarski, par la Société des anciens Etablissements Cail. Elles sont établies de façon à pouvoir être chargées avec sécurité à la pression de 80 *kg* par centimètre carré.

Elles seront alimentées d'air comprimé par une seule usine de compression d'air, installée dans le dépôt que la Compagnie possède à Boulogne-sur-Seine, 136, route de la Reine. Deux canalisations, de 0,060 *m* de diamètre intérieur, partent de cette usine pour amener l'air comprimé, d'une part, à des bouches installées sur la voie publique à la porte du Point-du-Jour

(distance : 2 100 *m*), d'autre part, à une station de chargement installée au dépôt de Sèvres, sur la route de Versailles (distance : 4 200 *m*).

Les locomotives partant du dépôt de Boulogne, avec les trains de Saint-Cloud, prendront au Point-du-Jour les voitures de Sèvres et de Versailles : celles-ci, au retour, seront attelées à la machine venant de Versailles, qui aura, pendant la manœuvre, pris un peu d'air aux bouches du Point-du-Jour, pour gravir les rampes de Sèvres. On relaiera à la station de Sèvres.

Les locomotives de Boulogne feront ainsi, à chaque course, plus de 20 *km*, dont 15 avec 3 voitures ; celles de Sèvres feront 23 *km*.

Le trafic journalier sera de 3 550 kilomètres-voitures, ce qui répond au travail journalier de 35 voitures à chevaux. Celles-ci employant chacune, à Paris, environ 14 chevaux, chaque locomotive en circulation ou en chargement remplacera pour la Compagnie, 28 chevaux. Le prix de la locomotive est d'environ 35 000 francs, soit sensiblement celui de la cavalerie dont elle tient lieu, avec les harnais.

L'usine de Boulogne comprend actuellement 7 machines de compression, de 140 *ch* à 140 tours, et 8 générateurs semi-tubulaires de 120 m^2 de surface de chauffe. On a réservé l'emplacement d'une huitième machine et d'un neuvième générateur. Le fonctionnement des machines est régularisé par une batterie d'accumulateurs, de 10 m^3 de capacité, composée de réservoirs éprouvés à la pression de 100 *kg*.

Tout ce matériel a été construit d'après les indications de M. Mekarski : les chaudières ont été fournies par la Compagnie de Fives-Lille, les machines motrices par la Société Cail, les compresseurs par MM. Brissonneau, Deroualle et A. Lotz, de Nantes, les accumulateurs par MM. Imbert frères et Cie, de Saint-Chamond, les robinetteries par M. E. de Laugaudin, de Paris.

Le service prévu comporte la mise en marche de quatre ou cinq machines de compression, suivant les heures : il en restera ainsi toujours deux en réserve. Dans le cas où la composition des trains serait augmentée, on pourrait avoir à faire tourner six machines : on installerait alors la huitième machine et le neuvième générateur.

La consommation de charbon est évaluée à 13 ou 14 *t* par jour, ce qui représentera une dépense d'environ 300 *f* à mettre en regard de la consommation de fourrages d'une cavalerie de cinq cents chevaux.

Le personnel de mécaniciens, chauffeurs, manœuvre, etc., que nécessitera le fonctionnement de ce matériel, tant sur la ligne qu'au dépôt, sera notablement moins nombreux que celui qu'exigerait la traction animale, ce qui fera réaliser également sur ce chapitre une économie appréciable.

En résumé, on espère que le prix de revient de la traction (personnel, y compris le salaire des mécaniciens-conducteurs, dont on fait quelquefois abstraction, matières, entretien du matériel) ne dépassera pas 0,27 *f* par kilomètre-voiture.

Si l'on considère que cette installation, bien qu'établie dans des conditions assez différentes, a été étudiée sur les données pratiques fournies par l'exploitation des tramways de Nantes, qui fonctionnent depuis plus de quinze ans avec une régularité parfaite et un prix de revient très

avantageux, puisqu'il est inférieur à 0,30 *f* par kilomètre d'automobile (1) marchant isolément et 0,35 *f* pour deux voitures, soit, dans ce cas, 0,17 1/2 *f* par voiture, il semble qu'on puisse avoir confiance dans l'évaluation ci-dessus.

II. — Ligne du Cours de Vincennes à Saint-Augustin :

Cette ligne sera desservie par des automobiles à impériale couverte de cinquante et une places, remorquant, lorsqu'il y aura lieu, une voiture de la même contenance, semblable à celles qui vont être employées sur les lignes à locomotives.

Le service prévu comporte par jour 2 412 *km* d'automobiles, ce qui équivaut au travail utile de vingt-quatre voitures à chevaux, nécessitant une cavalerie de trois cent trente-six chevaux. En tenant compte, même dans une faible mesure, des voitures supplémentaires attelées aux automobiles, on peut dire que l'installation mécanique remplacera, pour cette seule ligne, quatre à cinq cents chevaux.

La Compagnie aura pour cela vingt-quatre automobiles : dix-huit en circulation ou en chargement, deux en réserve, quatre disponibles pour les réparations. Chaque automobile en service remplacera ainsi plus de vingt chevaux. Son prix est également l'équivalent de celui de cette cavalerie et de ses harnais; il lui est inférieur, si l'on en déduit la valeur de la voiture ordinaire dont elle tient lieu.

L'air comprimé sera fourni par deux usines installées, l'une dans le dépôt de la rue de Lagny, près du terminus du cours de Vincennes; l'autre dans le dépôt, dit de Puebla, près de la place de la Villette.

La première comprend trois, et la seconde quatre machines de compression de la même puissance que celles de Boulogne : mais les machines motrices, fournies par la maison Garnier, de Paris, sont du type Corliss, vertical : les compresseurs sont du même type qu'à Boulogne et ont été également fournis par MM. Brissonneau, Deroualle et A. Lotz, de Nantes.

Il y a au dépôt de Lagny quatre chaudières semi-tubulaires de 90 m^2 de surface de chauffe, et, au dépôt de la Villette, cinq de 105 m^2. Ces chaudières ont été fournies par la Compagnie de Fives-Lille.

L'usine de la Villette alimentera les automobiles au moyen de bouches extérieures, installées sur un trottoir, à la place de la Villette, et permettant aux machines de se ravitailler, en revenant de Saint-Augustin, pour gravir les rampes des Buttes-Chaumont et de la rue des Pyrénées.

La consommation journalière de charbon, dans les deux usines, est évaluée au même chiffre qu'à Boulogne, soit 13 *t* à 14 *t*, dans le cas où tous les trains se composeraient de deux voitures. Elle serait alors à mettre en regard de la dépense de fourrages d'une cavalerie de six cents chevaux.

Le prix de revient de la traction est évalué, en raison du profil très accidenté de la ligne, à environ 0,42 *f* par kilomètre de parcours, pour

(1)

Personnel	0,100 *f*	0,285 *f*
Matières	0,105	
Entretien du matériel	0,080	

les automobiles marchant isolément, et 0,10 *f* en plus par voiture remorquée. Il ressortirait donc à 0,26 *f* par voiture, pour les trains de deux voitures.

La Compagnie compte mettre en marche le service du Louvre à Saint-Cloud dans le courant du présent mois, celui du Louvre à Versailles et celui du cours de Vincennes à Saint-Augustin, le mois prochain. M. Mekarski espère obtenir alors d'elle l'autorisation d'inviter la Société des Ingénieurs Civils de France à visiter les diverses installations dont nous venons de parler : il sera très reconnaissant à ceux de ses membres qui voudront bien se rendre à cette invitation et prendre quelque intérêt aux explications qu'il se propose de leur donner sur les dispositions qui leur paraîtront mériter d'arrêter leur attention.

Le jour de cette visite pourra vraisemblablement être indiqué à la prochaine séance.

M. le Président remercie M. Chatard de sa communication et prend acte de la promesse qu'il veut bien faire aux membres de la Société de leur fixer un rendez-vous à la prochaine séance.

M. A. Carcenat fait une communication ayant pour titre l'*alimentation des générateurs par refoulement d'eau dans la vapeur; observations sur le dispositif*.

Cette communication sera insérée au *Bulletin*.

M. le Président remercie de cette intéressante et très nouvelle communication M. Carcenat. En attendant qu'on trouve la raison des phénomènes singuliers qu'il vient d'exposer, M. Carcenat indique déjà comme résultat d'expérience fort important au point de vue pratique, le moyen d'éviter dans les appareils à vapeur des destructions graves.

M. L. G. Louisse présente sur *l'application, au dessèchement des marais de Fos, des pompes centrifuges Farcot à grand débit*, un travail qui sera inséré *in extenso* au *Bulletin*.

M. Brüll, pense que chacun a, comme lui, écouté avec le plus grand plaisir les explications si claires que M. Louisse a données et admire les résultats tout à fait remarquables que MM. Farcot ont su obtenir dans cet épuisement où ils ont économisé un sixième de la consommation qui leur était allouée. Il demande si les résultats n'auraient pas été plus beaux encore si M. Farcot avait suivi les dispositions qu'il avait adoptées en Egypte. Il rappelle qu'au Khatatbeh, pour actionner une pompe à axe vertical, on avait disposé la machine à vapeur de façon à attaquer directement par une manivelle, agissant dans un plan horizontal, l'arbre de la pompe qui pesait une quarantaine de tonnes sur la crapaudine. Dans l'installation, faite au marais de Fos, la pompe doit tourner moins vite qu'au Khatatbeh puisque la hauteur d'élévation est de 1,50 *m* au lieu de 3 *m*.

M. Badois demande quelques chiffres relatifs aux expériences qu'a faites M. Louisse pour mesurer le débit, soit au moyen du déversoir qu'il a fait établir dans ce but, soit par la mesure directe, car il est intéressant de comparer les nombres obtenus d'après les formules de Boileau avec ceux qu'a donnés le moulinet de Baumgarten.

Il voudrait savoir également si l'écart entre le point de déversement et le point où le liquide commence à s'infléchir est toujours de 2,80 *m*, pour les divers débits observés, comme cela lui semble avoir été indiqué.

M. Louisse répond, à la première de ces questions, en citant quelques chiffres tirés au hasard de son mémoire et relatifs à la mesure des débits : 1° au moyen du moulinet de Baumgarten; 2° en appliquant la formule et les coefficients d'expérience de Boileau; 3° en appliquant la formule du même auteur mais avec des coefficients déterminés expérimentalement sur le déversoir lui-même. Les nombres trouvés par ces différents procédés sont très concordants.

Au point de vue de l'écart entre les points où le liquide se déverse et celui où il commence à s'infléchir, M. Louisse dit que sans l'avoir mesuré d'une façon absolument précise, il peut le regarder comme étant bien de 2, 80 *m* ainsi que l'a dit Boileau. D'ailleurs, les expériences ont été faites dans des conditions absolument analogues à celles où s'était placé cet Ingénieur, de façon qu'on puisse se servir du tableau qu'il avait dressé.

M. Brüll fait observer que la distance fixée par Boileau a simplement pour but d'affirmer qu'au delà de 2, 80 *m* en amont, le niveau ordinaire n'est pas influencé par le barrage.

M. Marboutin pose différentes questions au sujet de la façon dont les expériences ont été faites et des nombres qui ont été observés pour les vitesses.

M. Louisse décrit la méthode qu'il a suivie : on a partagé la section en 10 parties, cinq supérieures et cinq inférieures ; on a pris la vitesse au centre de chacune de ces sections. On a observé des vitesses diverses dans les différentes sections, mais toujours les mêmes aux mêmes points. c'est-à-dire dans un rapport constant les unes par rapport aux autres. de sorte qu'il a suffi de placer le moulinet dans la section médiane.

M. Badois demande si les tableaux d'expériences paraîtront au *Bulletin*.

M. le Président dit que le travail de M. Louisse sera reproduit d'une façon intégrale dans le *Bulletin*.

M. le Président s'associe aux éloges que M. Brüll, avec sa grande compétence, a donnés aux constructeurs qui ont établi les machines dont il vient d'être question, et qui font grand honneur à l'industrie mécanique française. Il adresse également ses compliments à M. Louisse pour l'œuvre qu'il continue si bien et qui est si utile dans notre pays.

Ce n'est pas seulement une œuvre de dessèchement mais d'assainissement. Il souhaite que cet exemple puisse servir en France à des opérations analogues et que bientôt les 380 000 *ha* de terres marécageuses qui sont dans notre pays soient assainis et fécondés avec persévérance comme ceux des marais de Fos.

Il exprime l'émotion que cette communication a fait ressentir à la Société en y rappelant le souvenir de notre collègue Dornès, qui s'était donné avec tant de dévouement à cette œuvre, et qui a succombé à la suite des fièvres prises dans les régions malsaines des marais de Fos. comme un soldat sur le champ de bataille.

A une question de M. Moreau, sur le coût d'installation, M. Louisse répond que les deux pompes, les deux machines, les deux chaudières, en un mot, que toute l'installation est revenue à 157 000 *f*.

M. Carcenat présente des observations sur la consommation des chaudières et machines.

Il considère que la consommation de charbon à laquelle on est arrivé par cheval indiqué et qui dépasse 1 *kg* est beaucoup trop forte, aujourd'hui qu'on obtient des dépenses variant entre 0,700 *kg* et 0,900 *kg* et qu'on descend même à 0,650 *kg* par cheval-heure dans les essais au frein.

M. Brüll fait observer que le rendement assigné à la pompe par M. Louisse résulte d'un calcul où ce dernier a évalué les pertes à 15 0/0.

M. Aug. Moreau pense que la machine Farcot ne doit certainement pas consommer 1 *kg* de charbon ; grâce à la façon dont elle est établie et en particulier à la suppression presque complète de l'espace nuisible due à la position des quatre distributeurs sur les fonds du cylindre, c'est une des machines dont la consommation est minima.

M. Louisse explique que les machines de Capeau, qui sont de 60 *ch* et peuvent donner jusqu'à 150 *ch*, n'ont travaillé jusqu'ici qu'à la force minima ; la consommation par cheval-heure aurait diminué si on avait fonctionné à pleine marche. D'ailleurs, ce qui intéressait la Compagnie pour laquelle M. Louisse a fait les essais c'était le résultat final.

M. L. Appert confirme que les machines de Capeau ne doivent pas être utilisées dans les conditions les plus avantageuses. Dans une industrie où il est intéressé il emploie une machine de 600 *ch* fournie par M. Farcot. où la dépense par cheval n'est que de 600 *g*.

M. Badois regarde comme une erreur de fixer le chiffre de 600 *g* pour une machine de 60 *ch* ; le chiffre de 900 *g* qu'indique M. Louisse constitue pour une machine de cette force un très bon résultat.

M. D.-A. Casalonga pense que la consommation de 1 *kg* de bonne houille par cheval effectif et par heure est une bonne consommation *minimum*, quelle que soit la puissance du moteur ; et qu'il faut n'accepter qu'avec une grande réserve, même quand il ne s'agit que d'une puissance indiquée, toute consommation inférieure à 700 ou 800 *g*, à plus forte raison une consommation de 450 à 500 *g* que l'on a quelquefois donnée comme étant le résultat d'essais sérieux.

Ce n'est pas que la mesure de l'eau vaporisée et du charbon brûlé soit difficile ; mais, ce qui l'est bien davantage, c'est l'estimation exacte de la puissance motrice développée par les grands appareils que l'on ne peut soumettre à l'exercice du frein. Les diagrammes ne donnent qu'une indication approchée, toujours supérieure à celle qui correspond au travail réel.

M. Aug. Moreau est d'accord avec M. Casalonga ; en somme, il conclut que le résultat qu'on doit trouver est une consommation courante inférieure à 1 *kg*.

M. D.-A. Casalonga, pour répondre à l'observation de M. Brüll, fait remarquer que l'attaque directe des turbines à axe vertical est pratiquée depuis longtemps. Il l'a vue appliquée, en 1858, aux salins de Giraud, en Camargue, par les Forges et Chantiers de la Méditerranée, alors les ateliers Taylor, à une turbine élévatoire de Girard, dont il était chargé de suivre les essais de réception.

Mais, à cette époque, comme à celle de l'installation des turbines du Khatatbeh, les machines à vapeur marchaient généralement à une moindre vitesse de rotation. Aujourd'hui, grâce aux plus hautes pressions de la vapeur, aux perfectionnements apportés aux mécanismes, les machines, même celles d'une assez grande puissance tournent plus vite. Elles pèsent ainsi beaucoup moins, et peuvent être vendues à un moindre prix, tout en offrant un bon rendement. C'est apparemment pour cette raison, indiquée clairement par la figure exposée par M. Louisse, que MM. Farcot ont actionné les turbines affectées au desséchement des marais de Fos, au moyen d'un engrenage qui n'est qu'un pignon retardateur de la vitesse de rotation de la turbine.

M. Louisse dit qu'en effet la pompe fait 30 ou 45 tours et la machine 60 ou 90.

M. A.-L. Dumont demande différents renseignements sur la variation du nombre de tours de la pompe avec la variation de la hauteur d'élévation.

M. le Président constate que cette différence de vitesse est la justification de la présence de l'engrenage et l'explication du rendement de la machine motrice. Il remercie les membres qui ont pris part à cette intéressante discussion dont il ne faut pas regretter que les arguments décisifs aient été mis à la fin.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. A. Faucon et L. Olivier, comme membres sociétaires.

M. Ch.-E. Paccard est reçu comme membre sociétaire.

La séance est levée à 10 heures et demie.

PROCÈS-VERBAL

DE

L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE ORDINAIRE SEMESTRIELLE

DU 15 JUIN 1894 (1).

PRÉSIDENCE DE M. G. DU BOUSQUET, PRÉSIDENT.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

M. LE PRÉSIDENT rappelle que la Société est réunie en Assemblée générale semestrielle pour entendre le compte rendu de la situation financière de la Société, conformément à l'article 16 des Statuts, et donne la parole à M. H. COURIOT, Trésorier, pour la lecture de son rapport.

SITUATION FINANCIÈRE AU 1er JUIN 1894

Nombre des Sociétaires.

Le nombre des Sociétaires était au 1er décembre 1893, de. . .	2 482
Du 1er décembre 1893 au 1er juin 1894, les admissions ont été de 72.	72
formant un total de	2 554
dont il faut déduire par suite de décès, démissions et radiations.	27
Le total des membres de la Société au 1er juin 1894 est ainsi de.	2 527

Situation de la caisse au 1er juin 1894.

Le tableau des recettes et dépenses, annexé au compte rendu financier, peut se résumer de la manière suivante :

Le solde en caisse, au 1er décembre 1893, était de. . Fr.	25 324,68
A reporter. . . . . Fr.	25 324,68

(1) Voir le compte rendu de la séance bimensuelle ordinaire, page 177.

Report . . Fr. 25 324,68

Les recettes effectuées du 1er décembre 1893 au 1er juin 1894 se répartissent ainsi :

RECETTES

1° Pour le fonds courant :

Cotisations . . . . Fr.	41 724 »		
Droits d'admission	1 625 »		
Intérêts des valeurs de portefeuille.	3 195,90		
Vente de Bulletins et Mémoires; Abonnements et Annonces. . .	5 678,20		
Location des salles de séances . .	4 470 »		
		56 693,10	

2° Pour le fonds inaliénable :

Exonérations : MM. Henry et Lafrance. . . . . Fr.	1 200 »		
		1 200 »	
Le total des encaissements s'élève ainsi à . . .			57 893,10

et le montant des recettes effectuées au 31 mai, grossi de l'encaisse au 1er décembre 1893, monte à. . . . Fr. 83 217,78

DÉPENSES

Par le fonds courant :

Impressions, planches et croquis.	18 763,85	
Affranchissements et divers. . . .	4 191,86	
Appointements, travaux supplémentaires et chronique. . . .	9 462 »	
Frais de bureau, de sténographie et de séances.	2 048,41	
Prêts et secours	789 »	
Prix annuel et Nozo	1 220 »	
Contributions, entretien de l'immeuble, assurances, frais de la cité, chauffage, éclairage, téléphone, etc.	4 864,71	
Classement de la bibliothèque, achats de livres, reliure, etc. .	1 393,40	
Pension de Mme Ve Husquin de Rhéville.	1 500 »	
A reporter. . . . Fr.	44 233,23	83 217,78

Reports . . Fr.	44 233,23	83 217,78
Remboursement de bons de l'emprunt.	650 »	
Paiement des coupons échus . .	48 »	
Frais exceptionnels, gratifications, souscriptions, etc.	2 715,65	
Frais de recouvrement des cotisations	494,65	
Exposition de la Société à Anvers	820 »	
Legs Fusco	625 »	
Total des sommes employées au 31 mai 1894		49 586,53
Le solde en caisse, à la date du 31 mai 1894, est donc de . . . . Fr.		33 631,25

Nous joignons à ce Rapport le Bilan de la Société dressé dans la forme habituelle; il est arrêté à la date du 31 mai et se résume comme suit :

A l'actif sont portés :

L'Hôtel de la Société, pour . . . . Fr.	279 602,20
Notre portefeuille représenté par 426 obligations du Midi, deux titres de 235 f de rente 3 0/0 et 15 obligations de la Compagnie Madrilène du gaz figurant ensemble pour le prix de	178 022,06
Les espèces en caisse	33 631,25
La bibliothèque	8 404,65
Nos débiteurs (cotisations arriérées au 31 mai 1894, après réduction de 50 0/0 environ) et divers	10 411,40
TOTAL . . . . Fr.	510 071,56

Au passif figurent :

Nos créanciers (pour impressions, planches, reliure, travaux en cours, etc.). . . . . Fr.	6 015,81
Les prix divers (échus ou en cours) s'élevant à.	5 373,30
Le compte « Fonds de secours »	46,55
Le capital social s'élevant à	498 635,90
CHIFFRE ÉGAL . . . . Fr.	510 071,56

COMPTE DES RECETTES ET DÉPENSES

1894

RECETTES

En caisse au 1er décembre 1893 . . . . Fr.			25 324,68
1° Pour le fonds courant:			
Cotisations. . . . . Fr.	41 724 »		
Droits d'admission	1 625 »		
Intérêts des valeurs de portefeuille . .	3 195,90		
Ventes de bulletins et mémoires ; abonnements et annonces	5 678,20		
Location des salles de séances. . . .	4 470 »		
		56 693,10	
2° Pour le fonds inaliénable :			
Exonérations. . . . . Fr.		1 200 »	
			57 893,10
		Fr.	83 217,78

DÉPENSES

1° Par le fonds courant :

Impressions, planches et croquis. . . . . Fr.	18 763,85
Affranchissements divers	4 191,86
Appointements, travaux supplémentaires, chronique	9 462 »
Frais de bureau, de sténographie et de séances	2 048,41
Prêts et secours	789 »
Prix annuel et Nozo	1 220 »
Contributions, entretien de l'immeuble, frais de la cité, éclairage, chauffage, assurances, téléphone, etc..	4 864,71
Classement de la bibliothèque, livres, reliure, etc..	1 393,40
Pension de Mme veuve Husquin de Rhéville	1 500 »
Remboursement de Bons de l'emprunt	650 »
Paiement des coupons échus.	48 »
Frais exceptionnels, souscriptions, participation aux Congrès, etc.	2 715,65
Frais de recouvrement des cotisations	494,65
Exposition de la Société à Anvers	820 »
Legs Fusco.	625 »
	49 586,53
Solde en caisse au 31 mai 1894	33 631,25
Fr.	83 217 78

BILAN AU 31 MAI 1894

ACTIF

Immeuble :		
a. Terrains et frais . . . . Fr.	86 223,90	
b. Constructions et frais	150 814,65	
c. Mobilier et frais d'installation	42 563,65	
		279 602,20
Fonds inaliénable :		
a. Fonds social, 134 obligations du Midi	56 912,72	
b. Legs Nozo 19 » »	6 000 »	
c. Legs Giffard 131 » »	50 372,05	
d. Don Michel Alcan 1 titre de rente 3 0/0 . . .	3 730 »	
e. Legs Coignet » »	4 285 »	
f. Legs Couvreux 11 obligations du Midi. . . .	4 857,75	
g. Don anonyme	6 750 »	
		132 907,52
Fonds courant :		
131 Obligations du Midi.		45 114,54
Caisse :		
Solde disponible		33 631,25
Bibliothèque :		
Reliures, corps de Bibliothèque		8 404,65
Divers :		
a. Débiteurs divers.	703,40	
b. Cotisations 1893 et années antérieures (après réduction de 50 0/0).	3 708 »	
c. Cotisations 1894 (après réduction d'évaluation de 50 0/0).	6 000 »	
		10 411,40
	Fr.	510 071,56

PASSIF

Créditeurs divers :			
Impressions, planches et croquis, divers travaux en cours, évalués à . . . . .Fr.			6 015,81
Prix divers 1893 et suivants :			
a. Prix annuel		(mémoire)	
b. Prix Nozo		136,80	
c. Prix Giffard 1896.		4 286,40	
d. Prix Michel Alcan.		337,50	
e. Prix Coignet		237,60	
f. Prix Couvreux		375 »	
			5 373,30
Fonds de secours.			46,55
PROFITS ET PERTES :			
1° Valeurs à consolider :			
Somme à porter au Fonds inaliénable, après emploi.		6 669,21	
2° Avoir de la Société :			
a. Fonds spécial en vue de la reconstruction de l'Hôtel	11 250 »		
b. Avoir social	480 716,69	491 966,69	498 635,90
		Fr.	510 071,56

L'Avoir de la Société, à ce jour, s'élève ainsi à	498 635,90
alors qu'il était le 1er décembre 1893, de	486 883,33
il a, par suite, augmenté, durant le semestre, de. . Fr.	11 752,57
Il n'était, en effet, au 30 novembre dernier que de Fr.	481 414,12
auxquels il y avait lieu d'ajouter les valeurs à consolider à cette date, s'élevant à la somme de	5 469,21
soit au total . . . . Fr.	486 883,33

Cet accroissement sensible de notre avoir dénote une situation prospère; nos valeurs de portefeuille sont estimées à leurs prix d'achat, sensiblement inférieurs aux cours actuels; notre bibliothèque figure à l'actif pour 8 404,65 *f* seulement, somme qui n'a pas varié depuis plusieurs années, car nous amortissons tous les ans les dépenses faites à son occasion, aussi sa valeur réelle est-elle bien supérieure au chiffre porté au bilan et comme conséquence, dans son ensemble, notre actif est lui-même sensiblement supérieur au chiffre de 498 635,90 *f* qui figure dans nos comptes.

Le semestre a cependant supporté des dépenses exceptionnelles, telles sont, notamment, celles nécessitées par l'achèvement du catalogue de notre bibliothèque, formant deux volumes d'environ 650 pages chacun et dont le tome premier, actuellement imprimé, sera prochainement distribué aux souscripteurs; tels sont encore les frais faits jusqu'à ce jour pour soutenir les droits de la Société dans le procès en délivrance du legs Fusco, telles sont enfin les dépenses relatives à la participation de notre Société à l'Exposition internationale d'Anvers, votre Comité ayant pensé que la Société des Ingénieurs Civils de France devait avoir sa place marquée dans toutes les manifestations qui peuvent contribuer à révéler le développement du génie industriel de notre race.

Un ancien chapitre de notre bilan a disparu, c'est celui de l'emprunt que nous avions contracté en 1889, et cela par suite du remboursement, fait au cours de ce semestre, des treize derniers bons de notre emprunt qui restaient encore en circulation l'année dernière. Le compte de notre emprunt de 75 000 *f* se trouve ainsi définitivement clos, nous avons recueilli à son occasion 24 550 *f* de dons sous la forme d'abandon de bons souscrits par des collègues que je remercie ici une dernière fois de leur générosité, à l'égard de la Société; quant au surplus, s'élevant à 50 450 *f*, nous avons trouvé le moyen de le rembourser en moins de quatre ans et demi.

Ce remboursement anticipé de notre dette, cette prompte extinction de 50 000 *f* nous montrent que nous pouvons envisager l'avenir avec confiance, ils établissent jusqu'à l'évidence que si un emprunt d'une somme beaucoup plus importante devenait indispensable pour la reconstruction de notre hôtel, le crédit et la vitalité de notre Société seraient à la hauteur des circonstances et nous procureraient les moyens financiers nécessaires pour doter la Société des Ingénieurs Civils de France d'un siège et d'une installation véritablement dignes d'elle, dignes du but qu'elle poursuit et en rapport avec le nombre toujours croissant de ses membres.

M. le Président met aux voix l'approbation des comptes qui viennent d'être présentés.

Ces comptes sont approuvés à l'unanimité.

M. le Président demande à l'assemblée de voter des remerciements à son Trésorier, M. H. Couriot, pour le soin et le très grand dévouement qu'il apporte à ses fonctions.

Ces remerciements sont votés par *acclamation*.

M. le Président rappelle que dans l'assemblée générale semestrielle doivent être proclamés les lauréats des Prix que la Société attribue chaque année aux meilleurs mémoires présentés et il s'exprime en ces termes :

Mes chers Collègues,

Nous avons maintenant à décerner le Prix Annuel attribué au mémoire le plus important déposé dans l'année 1893.

De nombreux mémoires extrêmement bien faits et très intéressants ont été étudiés par les différentes sections, puis les Présidents de celles-ci réunis en commission ont procédé à un examen détaillé et très consciencieux des différentes propositions.

A l'unanimité elle a décerné le Prix à M. M.-L. Langlois, pour ses travaux sur *le calcul des poutres en treillis à brides parallèles* et sur *le calcul rigoureux des charpentes métalliques sur colonnes*.

Le système de M. Langlois a reçu la consécration de la pratique tant en France qu'à l'Etranger.

En ce moment notre Collègue fait exécuter d'après ce système les charpentes métalliques des ateliers de Droujkowka (Russie) qui couvrent une superficie de 12 000 m^2.

En félicitant chaudement M. Langlois, je me fais un plaisir de constater que c'est un ancien élève d'une de nos excellentes Ecoles d'Arts et Métiers, déjà largement représentées dans cette Société ouverte à tous les Ingénieurs Civils, sans distinction d'origine, qui reçoit aujourd'hui une récompense si justement enviée.

La Société s'associera certainement aux sentiments que je viens d'exprimer. *(Applaudissements répétés — vive approbation.)*

Remise de la médaille d'or du Prix Annuel à M. M.-L. Langlois qui remercie. *(Nouveaux applaudissements.)*

M. le Président continue ainsi :

Mes chers Collègues,

Le Prix que notre regretté Collègue Nozo a fondé est décerné, comme vous le savez, tous les trois ans, à l'auteur du mémoire le plus important déposé dans cette époque triennale.

Les membres du Comité, exclus par le Règlement du concours pour le Prix Annuel, sont admis au contraire pour le Prix Nozo de par la volonté du donateur.

La commission constituée, comme le prescrit le Règlement, a tenu de nombreuses séances et procédé non sans regrets à des éliminations suc-

cessives pour fixer définitivément son choix sur M. E. Bertrand de Fontviolant à qui le Prix est décerné à l'unanimité.

Vous ne vous étonnerez pas, Messieurs et chers Collègues, de notre décision.

M. Bertrand de Fontviolant est, en effet, un des membres les plus distingués de notre Société, un de ceux qui lui font le plus d'honneur.

Qu'il me suffise de rappeler qu'à peine reçu parmi nous en 1884, il obtient en 1885 le Prix Annuel pour sa méthode générale analytique et graphique sur le calcul des poutres continues.

Le travail capital qui mérite à M. Bertrand de Fontviolant la récompense que nous lui décernons aujourd'hui a pour but de satisfaire en ce qui concerne *les poutres continues* aux exigences du Règlement du 29 août 1891. Il résout le problème, désormais obligatoire, *des charges mobiles*, par la détermination *des lignes d'influence* au moyen d'une méthode nouvelle entièrement graphique. Cette méthode est empreinte d'un grand caractère de généralité et s'applique non seulement aux moments fléchissants, mais aussi aux efforts tranchants, aux flèches élastiques et aux réactions des appuis.

Il n'est pas inutile de rappeler qu'elle constitue une élégante et ingénieuse application des remarquables théorèmes sur les déformations élastiques qui sont dus également à M. Bertrand de Fontviolant et ont été exposés par lui dans divers mémoires publiés dans nos bulletins en 1888, 1889 et 1890. Leur ensemble forme une œuvre magistrale qui a déjà à plusieurs reprises fixé l'attention des savants et de l'Académie des Sciences et où les professeurs ont puisé pour leur enseignement technique.

Enfin, ce travail présente un réel caractère d'actualité à un moment où il s'agit de contrôler minutieusement les garanties que peuvent offrir les ouvrages métalliques construits sur les voies ferrées depuis près d'un demi-siècle.

C'est donc autant pour son incontestable utilité pratique que pour sa haute valeur scientifique que la Commission a attribué à ce travail le Prix Nozo.

Vous voudrez, j'en suis sûr, Messieurs et chers Collègues, en applaudissant au succès de M. Bertrand de Fontviolant, rehausser encore l'importance du Prix que notre Société se fait un plaisir de décerner à notre jeune et sympathique Collègue. *(Très bien, très bien ! Applaudissements répétés.)*

Remise de la médaille d'or du Prix Nozo à M. E. Bertrand de Fontviolant qui remercie. *(Nouveaux applaudissements.)*

La séance de l'assemblée générale est levée.

PROCÈS-VERBAL

DE LA

SÉANCE DU 15 JUIN 1894

PRÉSIDENCE DE M. G. DU BOUSQUET, PRÉSIDENT

Avant de procéder à l'adoption du procès-verbal de la dernière séance, M. le Président donne la parole à M. Paul Farcot qui a demandé à donner quelques explications en réponse aux questions soulevées par la communication de M. Louisse.

M. PAUL FARCOT rappelle que M. A. Brüll avait demandé pour quels motifs on avait adopté à Capeau une transmission par engrenage entre la machine motrice et la pompe centrifuge, au lieu de conserver une commande directe semblable à celle qui avait donné de bons résultats au Khatatbeh; voici quels sont ces motifs :

Au Khatatbeh, il s'était trouvé que les données du problème, telles que le volume d'eau à élever et la hauteur d'élévation, conduisaient pour la pompe centrifuge à une vitesse de 35 tours environ, précisément convenable pour la machine motrice de puissance voulue, dont la course était de 1,800 *m*; la commande directe était donc tout indiquée. A Capeau, au contraire, la machine, de puissance et dimensions beaucoup plus faibles, exigeait un nombre de tours normal sensiblement double de celui qui était convenable pour la pompe.

M. Farcot a signalé, à ce propos, que la commande directe, si avantageuse au Khatatbeh, aurait fourni à Capeau un rendement total moins bon que celui qu'on obtient avec les engrenages : pour le démontrer il a rappelé combien, dans une machine, la lenteur du piston a une influence nuisible sur le rendement thermique de la vapeur; et il a cité à l'appui le fait suivant. Une machine de mêmes dimensions que celle de Capeau, installée par lui il y a une douzaine d'années à Ismaïlia pour commander des pompes à piston alimentant Port-Saïd, et qui par suite avait dû être dans certains cas ralentie à 24 tours, consommait alors environ 25 0/0 en plus du chiffre atteint à sa vitesse normale de 60 à 70 tours. — D'autre part, l'engrenage de Capeau, d'après les calculs de frottement basés sur un coefficient 0,1 ne perd que 8 0/0 environ du travail transmis. — La disposition adoptée à Capeau réalise donc, outre une diminution du prix d'installation, une économie de rendement d'au moins 15 0/0.

D'ailleurs, M. Farcot n'a nullement changé d'opinion, depuis le Khatatbeh, au sujet des avantages que procure la commande directe dans certaines circonstances, la preuve en est qu'il a en ce moment même en construction, pour le service d'assainissement de la Ville de Paris, 4 machines élévatoires centrifuges de 3 à 400 chevaux chacune, à arbre vertical commandé directement par la manivelle de la machine motrice; il espère, du reste, entretenir un jour la Société de cette installation qui présente certaines particularités intéressantes.

Une autre question avait été soulevée à la séance du 1er juin : un de nos collègues avait trouvé excessive la consommation, qui oscille aux environs de 1 *kg* de houille par cheval indiqué; M. Farcot a expliqué que la chaudière, ayant dû être calculée très largement en vue des grandes surcharges dont M. Louisse a cité de remarquables exemples, se trouvait, lors des essais à puissance normale, dans des conditions désavantageuses, ne produisant par mètre carré que la moitié environ du poids de vapeur qu'elle aurait dû fournir pour être économique; sa longue conduite condensait en outre beaucoup par suite de son diamètre, trop grand pour les mêmes motifs, et ce poids condensé n'a pas été déduit : la chaudière doit donc être mise hors de cause.

La machine, au contraire, n'a consommé que son chiffre normal, environ 7 *kg* de vapeur par cheval indiqué; avec une chaudière en bonnes conditions vaporisant par exemple 9 *kg* par kilogramme de houille, ce chiffre correspondrait à 750 ou 800 *g* de houille par cheval indiqué. Dans les moteurs de puissance plus grande, la consommation de vapeur diminue encore et passe, suivant une loi continue, de 7 *kg* à 5,5 *kg* environ, ce qui avec une bonne chaudière correspond aux 600 *g* que notre Vice-Président, M. L. Appert, a bien voulu citer comme constatés par lui sur une machine Farcot.

Sous bénéfice de ces explications le procès-verbal est adopté.

M. le Président a le plaisir d'annoncer que notre collègue M. Fouret a été nommé Chevalier de la Légion d'honneur.

M. Schwoerer a été nommé Chevalier de l'Ordre Royal d'Isabelle la Catholique.

M. le Président dépose ensuite sur le bureau la liste des ouvrages reçus depuis la dernière séance et que l'on trouvera reproduite à la suite du procès-verbal.

M. le Président annonce que le Congrès des Sociétés Savantes se tiendra à la Sorbonne, le mardi 16 avril 1895; ceux de nos collègues qui désirent y prendre part peuvent, dès à présent, se faire inscrire; et en trouveront le programme à la bibliothèque de la Société.

L'Association française pour l'avancement des Sciences nous informe également qu'elle tiendra son 33e congrès à Caen, du 9 au 15 août, et demande que notre Société s'y fasse représenter. Nos collègues trouveront les renseignements nécessaires à ce sujet au Secrétariat.

L'Association Belge des chimistes, invite la Société à se faire représenter au Congrès de chimie appliquée, qui s'ouvrira à Bruxelles, le 4 août 1894. Le programme et les statuts sont déposés à la bibliothèque.

Enfin, le Polytechnicum, de Zurich, nous invite à assister à la réunion solennelle qui aura lieu le 8 juillet prochain. Le comité a désigné M. Paur, Secrétaire Général de l'Association des anciens élèves de l'École Polytechnique de Zurich, et membre correspondant de notre Société en Suisse, à nous représenter à cette réunion.

M. le Président donne connaissance d'une lettre qu'il a reçue de M. Egleton au sujet d'une jauge internationale pour les fers plats et ronds. M. Egleton rappelle qu'un comité a été constitué et qu'il est

chargé de se mettre en rapport avec les Sociétés d'Ingénieurs d'Europe, pour obtenir leur adhésion; il demande à notre Société de créer elle-même un comité chargé d'étudier la question; il annonce en même temps sa prochaine arrivée en Europe.

Une autre lettre de M. Chatard nous annonce que l'on ne pourra visiter l'usine de la Compagnie des Omnibus, pour la compression de l'air, avant le 29 juin. Un avis spécial fera connaître à nos collègues le jour fixé pour cette visite.

M. le Président annonce que la Commission supérieure de l'Exposition de 1900, dont le Président de la Société des Ingénieurs Civils de France fait partie, vient de tenir sa première réunion.

M. P. Buquet a la parole pour présenter l'ouvrage de MM. G. Dumont et G. Baignères et s'exprime en ces termes :

Nos collègues, MM. G. Dumont et G. Baignères m'ont chargé de faire, en leur nom, hommage à la Société de l'ouvrage qu'ils viennent de publier, sous le titre de « *Guide pratique d'électricité industrielle* ».

Le titre même de cet ouvrage indique nettement qu'il s'adresse surtout aux praticiens appelés à s'occuper des applications industrielles de l'électricité et à pénétrer, dans ce nouveau champ d'exploitation alors qu'ils n'en connaissent pas bien encore toute la topographie.

La première condition pour se bien comprendre est de parler la même langue et, dès le début, les non-spécialistes se trouvent quelquefois un peu déroutés en présence des termes usités; nos collègues se sont appliqués à expliquer en peu de mots le langage électrique, la valeur des unités admises, leurs relations entre elles et leur corrélation avec celles plus anciennes, que tout le monde connaît. On peut bien dire, au cas particulier, que la langue électrique est apprise en trois leçons.

Ils laissent de côté les détails techniques de construction des divers appareils destinés à produire, à recevoir, à transformer ou à emmagasiner l'électricité, lesquels appartiennent au domaine des constructeurs spéciaux; mais ils font connaître toutes les données nécessaires pour apprécier, juger et choisir les types d'appareils appropriés aux divers usages; tout ce qu'il faut, en un mot, pour étudier un avant-projet.

Toutes ces considérations sont suivies d'exemples pratiques, d'évaluations des dépenses à faire et des prix de revient de l'énergie dans différents cas : installation et exploitation de stations centrales, éclairage, distribution.

On a eu le soin de mettre en regard de chaque étude particulière des applications numériques qui peuvent servir de types et qui facilitent grandement la tâche des ingénieurs ou des industriels, en leur évitant, suivant l'expression même des auteurs, toute espèce d'indécision ou de fausse interprétation des règles énoncées.

Les travaux antérieurs de MM. Dumont et Baignères les avaient bien préparés à cette publication, appelée à rendre de réels services. On me permettra d'ajouter que l'ingénieur le moins préparé trouvera, dans l'étude de ce véritable guide, toutes les lumières nécessaires pour se diriger et se retrouver au milieu des multiples applications de l'électricité, plus troublante peut-être en apparence que compliquée dans la vérité.

La Société ne peut que féliciter les auteurs et les remercier de l'hommage qu'ils lui font de leur œuvre absolument pratique.

En terminant, M. Buquet ajoute que si MM. Dumont et Baignères l'ont choisi pour présenter leur ouvrage, bien qu'il ne fût pas désigné par une compétence spéciale en la matière, c'est qu'il a justement pu faire sur lui-même l'expérience de sa valeur pratique en s'initiant sans difficultés aux principes de l'électricité industrielle par l'étude du livre de ses collègues.

M. le Président appuie la dernière phrase de M. Buquet : lui aussi a étudié l'ouvrage de MM. Dumont et Baignères; il l'a trouvé extrêmement facile à comprendre et de nature à répandre cette science parmi les ingénieurs encore très nombreux qui n'y ont pas été initiés au cours de leurs études techniques.

C'est donc avec le plus vif plaisir qu'il adresse ses compliments à MM. Dumont et Baignères et qu'il remercie M. Buquet d'avoir bien voulu être leur excellent interprète auprès de la Société.

M. Aron a la parole pour sa communication sur *le Musée de photographie documentaire.*

Après avoir rappelé que le Bureau de la Société l'a délégué, ainsi que M. Vallot, au mois de février dernier, pour assister à une assemblée de plusieurs Sociétés scientifiques et artistiques réunies à Paris, M. Aron expose que le but de cette réunion était d'étudier le projet suivant :

Fondation d'un « Musée des photographies documentaires », et d'une Association de sociétés et de personnes à l'appui. Nous savons tous qu'aujourd'hui et de plus en plus, soit en photographie, soit en photo-imprimerie, on reproduit tout et qu'il serait donc intéressant, théoriquement au moins, de centraliser, avec un choix bien compris, une sélection bien faite, une véritable encyclopédie d'images documentaires, embrassant tout l'ensemble des connaissances humaines.

Les délégués présents (ils étaient assez nombreux et représentaient des Sociétés très variées) ont par un vote unanime donné leur approbation et leur sympathie à ce projet. On a immédiatement désigné une commission d'étude de neuf membres, dont faisait partie M. Aron, pour rechercher les voies et moyens pratiques de réaliser le projet.

La commission a recherché d'abord un local, au moins provisoire et le Cercle de la librairie lui a très gracieusement et très généreusement offert l'hospitalité. Elle a en même temps élaboré un projet de statuts, en vue de l'Association à établir. Et dans une nouvelle Assemblée générale des délégués, le 9 mai dernier, ces statuts, après étude et mise au point définitif, ont été votés à l'unanimité.

Le « Musée des photographies documentaires était dès lors, platoniquement au moins, fondé ainsi que l'association du Musée.

L'Assemblée générale a désigné jusqu'à la fin de l'année une commission exécutive, chargée de rechercher des adhérents à l'Association et de centraliser les documents qu'on veut bien offrir au Musée. Cette commission est composée à peu près des mêmes délégués que précédemment y compris, votre délégué. Aussi M. Aron se fait-il un devoir de signaler, tout de suite, à la sympathique et bienveillante attention de

ses Collègues le musée et l'association et de demander leur appui, moral en tout cas, et matériel, dans la mesure où ils le jugeront bon et utile.

Le Bureau recevra très prochainement les statuts et quelques pièces qui ont été redigées en vue de la propagande (règlements intérieurs, bordereau d'envoi de documents, bulletin d'adhésion à l'association, etc.)

M. Aron croit pouvoir compter sur le Bureau pour l'aider à porter à la connaissance de tous les membres de la Société ces documents et remercie M. le Président d'avoir bien voulu lui permettre de toucher quelques mots ici de l'œuvre en élaboration.

La Société a l'habitude d'être au bon rang chaque fois qu'il s'agit d'encourager, d'appuyer un projet intéressant les sciences et les arts; il peut donc compter sur elle aujourd'hui.

M. le Président remercie M. Aron des détails qu'il vient de communiquer à la Société et donne la parole à M. F. Barbier, pour une communication sur *l'Exposition d'Anvers.*

M. F. Barbier dit que M. le Président a bien voulu lui demander, au retour d'un voyage récent en Belgique, de présenter un aperçu général de l'Exposition d'Anvers, qui s'est ouverte le 5 mai 1894. Il s'excuse de ne pas donner à cette causerie, qui ne possédera pas le caractère exclusivement technique des communications habituelles, l'ampleur que le sujet comporterait : il n'a pu disposer que d'un temps restreint pour mettre en ordre quelques notes, prises dans une visite rapide. M. Barbier fournit quelques renseignements généraux sur l'organisation financière et administrative de l'Exposition. Elle fonctionne sous le couvert d'une Société anonyme dont le président est le comte de Pret, et le Secrétaire du Conseil d'administration, l'un de nos collègues : M. H.-G. Béliard.

La classification des produits s'est faite en soixante-huit classes, réparties dans vingt-deux groupes.

L'Exposition de 1894 a le même emplacement que celui de 1885, dans les nouveaux quartiers du sud de la ville, à proximité de l'Escaut et de la gare du Sud; la superficie qu'elle occupe est de 360 000 m^2. Les halles, qui recouvrent une surface d'environ 110 000 m^2, comprennent, essentiellement, un bâtiment principal, avec aile de retour, désigné sous le nom de Halles de l'industrie et une galerie des machines et de l'électricité. Dans l'enceinte de l'Exposition sont enclavés l'ancien Palais de l'Industrie de 1885, qui servira de salle des fêtes et le musée de peinture d'Anvers, affecté à une exposition des beaux-arts, conjointement avec un bâtiment spécial construit derrière le musée. La Société de l'Exposition a concédé l'établissement des bâtiments à quelques adjudicataires qui en conserveront la propriété et auxquels elle paie le prix de la location. Les principaux constructeurs sont : les Aciéries d'Angleur, pour les halles des machines, en acier; la Société de Baume et Marpent, pour la majeure partie des halles de l'industrie, en fer; la Société de construction de Haine-Saint-Pierre, pour la façade et le dôme central, également en fer, du bâtiment principal.

Les fermes, ayant 15, 20 ou 25 *m* de portée, sont caractérisées par une grande légèreté et par l'absence de trous percés, en vue des assemblages, dans les pièces qui les constituent. Celles-ci sont pincées dans des sa-

bots de jonction, en fonte, réunis par des tirants. Les fers conserveront ainsi leur valeur marchande, après démolition des charpentes.

L'ornementation extérieure est généralement très sobre ; la façade du bâtiment principal possède, seule, un réel caractère artistique. L'architecte semble être entré résolument dans la voie que lui ont montrée ses devanciers français en 1889, en édifiant les palais et le dôme central du Champ-de-Mars et en contribuant à créer, dans l'art monumental, une esthétique moderne, où le métal joue un rôle prépondérant.

La façade est constituée par une entrée à triple portique, surmontée d'une coupole métallique et reliée, par deux petites ailes, à des tourelles supportant des phares électriques. Des galeries-promenoirs, avec terrasses supérieures à l'italienne, s'étendent de chaque côté, sur une longueur totale de 265 *m*. Le dôme est muni de vitrages dans la zone inférieure; ses arêtes, son couronnement et le campanile élégant qui le domine, sont revêtus de dorures. Des faïences et des carreaux de terre cuite, ainsi que des applications de staff, partout encadrées par l'ossature métallique, décorent les montants, les frontons et les archivoltes des baies.

M. Barbier passe successivement en revue les sections belge, française et étrangères dont les produits sont abrités dans les halles de l'industrie ; il en signale les expositions intéressantes et accorde une mention spéciale à l'art militaire et à la navigation.

Dans la halle des machines et de l'électricité sont représentées surtout la Belgique, la France, l'Allemagne et l'Angleterre. On peut y remarquer, particulièrement, les moteurs à grande vitesse, en nombre assez important, pour commande de dynamos ; les turbines à vapeur Laval ; les ventilateurs portatifs, mus par l'électricité, la turbine Van Rysselberghe, à eau sous pression; les machines de la Société Cockerill et la colossale installation d'une papeterie et d'une fabrique de glace, par M. De Naeyer.

Le matériel roulant des chemins de fer comporte 7 locomotives à voie normale (dont une compound de la Compagnie P.-L.-M.) ; 2 locomotives à voie étroite (dont une compound de la Société Cockerill) ; 14 véhicules divers (dont un truck électrique de la Société franco-belge).

La force motrice nécessaire dans les différentes parties de l'Exposition est produite presque entièrement par des moteurs à vapeur installés en différents points des halles des machines, et desservis par une batterie de quatre générateurs de Naeyer, pouvant alimenter 2 000 *ch*.

Toutes les transmissions sont souterraines. De nombreuses applications du transport électrique de la force ont été faites, soit à l'intérieur, soit en dehors des halles des machines. Le courant est fourni par des dynamos génératrices, systèmes Dulait et Pieper, qui fonctionnent également pour la production de l'éclairage électrique des jardins et des locaux particuliers.

Sont en outre à signaler, dans la galerie des machines, une tentative intéressante de ventilation mécanique, due à M. Bika, et l'installation hydraulique de la maison Nyssens, pour le service de l'eau à l'Exposition.

Après avoir dit quelques mots des pavillons disséminés dans les jardins, ainsi que des exhibitions exotiques, parmi lesquelles vient en pre-

mière ligne le curieux village congolais, M. Barbier mentionne un certain nombre d'attractions qui, par leur nouveauté ou par leur pittoresque, pourront accroître le succès financier de l'entreprise. Telles sont les montagnes russes aquatiques du capitaine Boyton, le ballon dirigeable, les Indiens de Pawnee-bill, le château aérien, en cours de construction, enfin le quartier du Vieil-Anvers, reconstitution fidèle d'une partie de la ville, au XVI[e] siècle. L'artiste et surtout l'archéologue trouveront, dans cette évocation du passé, de nombreux sujets d'études. Une description sommaire des monuments et des maisons les plus remarquables de ce coin du Vieil-Anvers fait revivre d'une façon saisissante et mélancolique une époque disparue.

M. Barbier termine en disant que les souvenirs brillants, laissés par l'Exposition de 1889, ne permettent d'établir aucune comparaison. Cependant d'utiles renseignements peuvent être retirés d'une visite à l'Exposition d'Anvers, de laquelle on conservera une impression sympathique pour ce pays industriel et hospitalier qui, en conviant les autres peuples à s'associer à cette manifestation du travail, contribue à consolider l'œuvre de progrès et de concorde internationale, dont nous espérons voir la réalisation complète en 1900.

(Une douzaine de projections accompagnaient cette communication.)

M. le Président remercie M. Barbier de l'exposé qu'il vient de faire devant la Société. Nous devons savoir gré à notre Collègue d'avoir, malgré le peu de temps dont il disposait, étudié aussi complètement l'ensemble de l'Exposition et de nous en avoir présenté un résumé d'un grand intérêt.

Il est donné lecture en première présentation des demandes d'admission de MM. P. Billaud, Ch.-E. Coustenoble, V.-L.-M. Langlois, A. Maurice, H.-J.-F. Poisson, P.-E. Sarasin et H. Thuile, comme membres sociétaires et de

MM. A. Medrado, R.-J.-V. Millot et J. de Sa Pereira comme membres associés.

MM. A. Faucon et L. Olivier sont reçus comme membres sociétaires.

La séance est levée à 11 heures.

DE L'ORIGINE

DES

COURANTS ATMOSPHÉRIQUES ET MARINS

Théorie et appareils de Mgr ROUGERIE

INFLUENCE PRÉPONDÉRANTE DE LA ROTATION DU GLOBE

PAR

M. BAUDON de MONY

Depuis des années, la météorologie multiplie ses observations, perfectionne ses méthodes et ses instruments, précise les détails des phénomènes aériens.

Le marin reconnaît la marche des courants océaniques, étudie leur puissance, leur température, leur vitesse, leurs relations avec les déplacements de l'atmosphère.

Mais jusqu'ici nul n'avait saisi le lien de ces mouvements, dont la complication et l'incessante variabilité étonne notre esprit.

Cette synthèse hardie des lois de la nature, Mgr Rougerie, le savant évêque de Pamiers, a osé l'aborder.

Il a reconnu *dans la rotation du globe terrestre, combinée avec son mouvement de translation et la chaleur solaire*, la cause réelle des courants atmosphériques et marins. Et, pour en donner la preuve expérimentale, il a créé des appareils avec lesquels il reproduit des courants semblables à ceux de la nature.

L'étude suivante a pour but de développer sa théorie et de faire connaître ses remarquables travaux (1).

Comme le sujet lui-même, elle comprend deux parties :

1° Mouvements atmosphériques ; leurs causes et leur reproduction par les globes anémogènes ;

2° Courants de la mer ; leur origine et leur reproduction par le globe marin.

(1) Mgr Rougerie a exposé son système et consigné ses observations dans deux ouvrages intitulés :
L'Anémogène ou appareil reproducteur des courants atmosphériques (éditeur J. Galy, à Pamiers, 1887) ;
Le Globe marin (imprimerie Francal, à Foix, 1894).

I. — Mouvements atmosphériques ; leurs causes et leur reproduction par les globes anémogènes.

Si l'on jette les yeux sur les cartes des vents de la marine, on remarque dans chaque hémisphère trois zones distinctes (1).

La première s'étend de l'équateur au 25° de latitude. Les vents y soufflent avec constance vers l'équateur, mais en *obliquant fortement vers l'ouest.*

C'est *la région des alizés.*

Dans la seconde, située entre le 25° et le 40°, les vents sont extrêmement variables et soufflent capricieusement de tous les rhumbs du compas.

Enfin, au delà du 40°, la variabilité diminue de plus en plus, et du 45° au 60°, les courants se portent franchement vers le pôle, mais *en obliquant fortement vers l'est.*

C'est la région *des contre-alizés.*

Pour les latitudes supérieures au 60°, les observations sont insuffisantes, mais semblent indiquer des vents se dirigeant en sens contraire des précédents.

Les physiciens ont cherché à expliquer ces mouvements de l'atmosphère par l'action solaire, et les différences de température qui en résultent d'une région à l'autre.

Si nous ouvrons leurs ouvrages les plus récents, nous y lisons ce qui suit :

« Le soleil est la cause première de tous les phénomènes atmosphériques (2). »

« Lorsqu'une région du globe a été fortement échauffée, les couches d'air, voisines du sol, s'élèvent en vertu de leur diminution de densité : ces couches sont remplacées par de l'air froid qui afflue des régions voisines. Il en résulte un vent qui souffle à la surface du sol des régions plus froides vers la région considérée, si aucune autre cause n'en vient changer la direction. Quant à l'air chaud, qui s'est ainsi élevé, il se déverse par les régions supérieures, vers les parties froides, pour remplacer l'air qui s'est ainsi mis en mouvement dans les régions inférieures.

» Il se produit donc un double courant dans l'atmosphère : l'un

(1) Voir cartes III-VI, pl. 108. (Toutes les cartes sont tirées des deux ouvrages de Mr Rougerie.)

(2) *L'Océan Indien*, par Gaston Tissandier, p. 15.

en bas, allant de la partie froide à la partie chaude, l'autre en haut, allant de la partie chaude vers la partie froide (1). »

« Les deux courants des alizés *se rencontrent dans la région du maximum de température terrestre*, région qui se déplace d'un mois à l'autre, car sa position est déterminée par le parallèle sur lequel les rayons solaires tombent verticalement, le soleil atteignant à midi le zénith du lieu d'observation.

» Ce parallèle est le tropique du Cancer, le 21 juin ; l'équateur au moment des équinoxes ; le tropique du Capricorne, le 21 décembre (2). »

« Les moussons d'été ont pour cause la haute tension qu'atteint alors le versant méridional des monts Himalaya. Une nappe d'air chaud s'élève le long de ce versant, et, donnant naissance à une puissante aspiration des alizés du sud-est, elle les transforme en moussons de la mer vers le continent.

» Pendant l'hiver, le continent se refroidissant plus que la mer, l'aspiration se produit au-dessus de l'océan Indien, et les moussons soufflent en sens contraire. Toutes les grandes chaînes de montagnes produisent des effets semblables (3). »

Telle est la théorie universellement admise par les physiciens. Leur principe de l'action de la chaleur solaire sur l'atmosphère est incontestable, mais a-t-il réellement une influence prépondérante dans la production des courants aériens ?

Nous démontrerons le contraire par un exemple frappant : les marins ont reconnu *que la ligne de rencontre des alizés n'est nullement située dans la région du maximum de température terrestre*, comme le prétendent les partisans de la théorie solaire. Au lieu de suivre le soleil dans sa marche du tropique du Capricorne à celui du Cancer, *sur un espace de 43°*, cette *ligne se déplace seulement de 7° du 3° au 10° N.* Quelques détails feront mieux comprendre notre pensée (4).

Aux environs du solstice d'hiver, le soleil, pendant deux mois, ne s'écarte pas du tropique du Capricorne de plus de 3°, c'est-à-dire de plus de 340 *km*.

« Malgré ce long séjour, nous dit Mgr Rougerie, il ne peut fixer les vents indisciplinés qui règnent tout près de lui au sud du 23°, ni les attirer vers la zone brûlante. Il ne peut empêcher l'alizé de

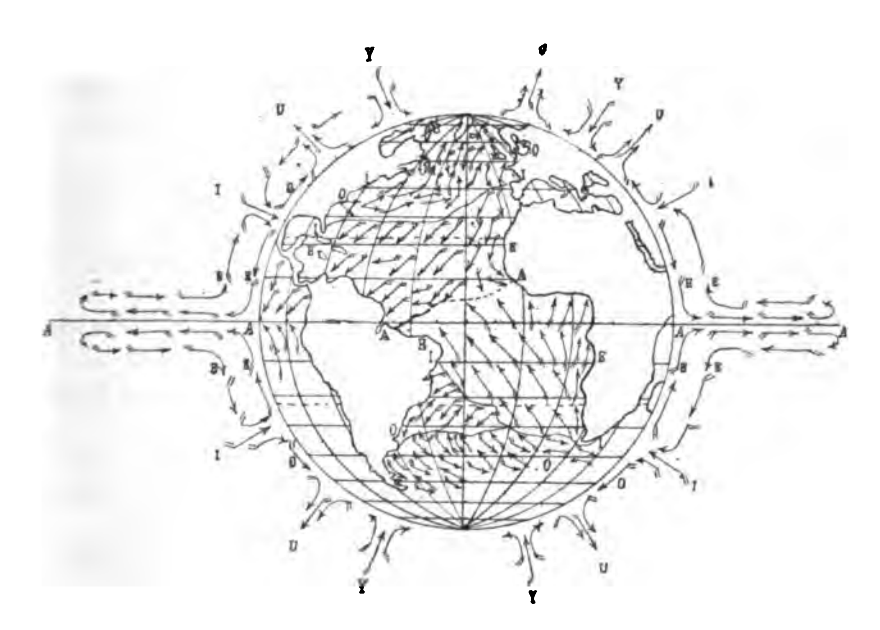
(1) *Traité de physique élémentaire*, par Ch. Drion et E. Fernet, 1880, p. 761.
(2) *Cours complet de physique*, par M. E. Gripon, 1884, p. 712.
(3) *Traité élémentaire de physique*, par M. A. Ganot (refondu par G. Maneuvrier, 1884, p. 1081-82-84).
(4) Voir carte III, pl. 108.

partir du pied même de ses rayons perpendiculaires, non pour monter vers le zénith, mais pour le fuir, en rasant l'océan, jusqu'au delà de l'équateur, sur un parcours de 2 700 *km*.

» Le 21 mars, le soleil franchit l'équateur et marche vers le tropique du Cancer où il s'arrête et séjourne le 21 juin. Dans cette course, il laisse derrière lui l'alizé du sud-est, qu'une force invincible fait expirer sur le 5° N, au contact de l'alizé du N.-E. Il stationne deux mois entre le 20° et le 23°, et bien qu'il échauffe de ses rayons verticaux une zone chaque jour plus septentrionale, il voit toujours couler vers le sud-ouest, à l'encontre de la marche de ses feux brûlants, la nappe de l'alizé septentrional.

» Bien loin d'attirer jusqu'à lui, vers le tropique du Cancer, l'alizé du sud-est, le soleil ne voit pas pénétrer dans l'hémisphère qu'il échauffe, ce vent régulier au delà du 5° N.

» En approchant du tropique du Cancer, il ne peut encore, dans son long séjour, ni fixer les vents indisciplinés qui règnent au nord du 23°, ni les attirer vers la zone brûlante ; il ne peut empêcher l'alizé de partir du pied même de ses rayons perpendiculaires, pour le fuir, en rasant l'océan. jusqu'au 5° N., sur un parcours de plus de 2 000 *km*. »



Il faut donc, pour expliquer le système des vents dans la région des alizés, ou zone intertropicale, *admettre l'existence d'une action*

différente de celle du soleil, action plus puissante qui en masque ou en détruit les effets.

Cette pensée est venue à l'esprit de plusieurs savants distingués : l'illustre Maury, le créateur de la météorologie nautique, termine ainsi l'une de ses discussions :

« Tout tend à faire penser qu'il y a, dans la circulation atmosphérique, un agent qui nous est encore inconnu, dont l'existence est pour ainsi dire nécessaire, le rôle indispensable, et dont pourtant l'influence n'a jamais été nettement déterminée (1). »

Cet agent « nécessaire et encore inconnu », qui, pour Maury, était le magnétisme terrestre, Mgr Rougerie nous le nomme.

C'est la force centrifuge.

« Le globe terrestre, en tournant autour de son axe, entraîne avec lui son enveloppe gazeuse ; mais, grâce à leur fluidité, les molécules de l'atmosphère tendent à s'éloigner le plus possible de l'axe de rotation (2).

» Sur toute la circonférence de l'équateur, l'air est lancé vers le zénith, de même que des nuages de poussière sont projetés par une meule rapide. Il forme un disque ascendant, dont la terre occupe le centre (3). »

Un vide relatif se produit sur toute la circonférence du grand cercle, par suite de l'expulsion de l'air. Une puissante aspiration naît au nord et au sud de l'équateur : deux nappes d'air se mettent en mouvement, et coulent à la suface du globe, en convergeant vers l'équateur.

Elles constituent les vents rasants de la région intertropicale, les *vents alizés*.

« Après avoir dépensé, dans son ascension, toute la force centrifuge reçue, l'air redescend du zénith et, sous forme d'alizé de retour ou alizé supérieur, complète le cycle, en revenant à la surface de la terre, vers le 30° de latitude nord et sud.

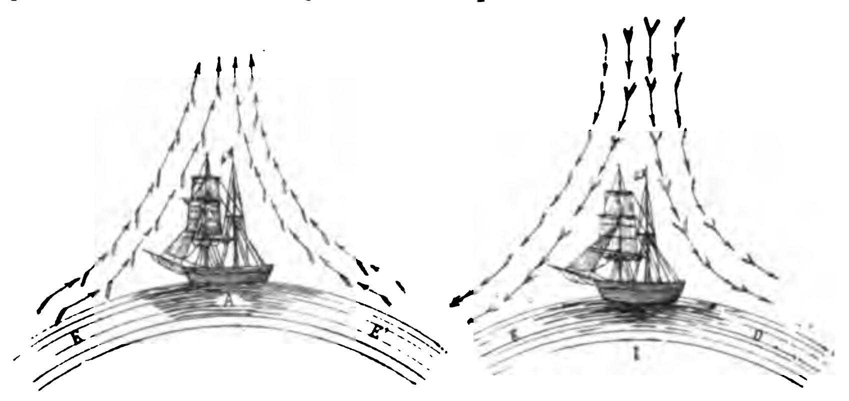
» En outre, par suite de l'inertie de l'air, la terre, dans la région des grands cercles, tourne plus vite que l'atmosphère. Celle-ci reste en retard dans le mouvement général de l'ouest vers l'est. Les alizés soufflent donc du nord-est au sud-ouest dans l'hémisphère boréal, et du sud-est au nord-ouest dans l'hémisphère austral.

» Ces vents, en se rencontrant, s'arcboutent l'un contre l'autre, comme une voûte à arceaux convexes. Sous cette voûte s'étend

(1) *Traduction de Vaneechout*, 1859, p. 30.
(2) Voir carte I, pl. 108.
(3) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.

une région de calmes ou du moins de vents irréguliers : la région des calmes équatoriaux, la zone des courants ascendants et des basses pressions permanentes.

» Cependant, il ne faudrait pas croire que le calme y est complet : les brises folles y soufflent capricieusement dans un sens



ou dans l'autre, suivant que l'un ou l'autre des deux lutteurs parvient à l'emporter momentanément sur son rival.

» Les centres des courants descendants vers le 30° sont aussi, pour des raisons analogues, des régions de calme et de hautes pressions permanentes (1). »

Nous venons de dire comment Mgr Rougerie explique les courants qui naissent dans la région intertropicale.

Sa théorie est très rationnelle. Elle reçoit, du reste, une éclatante confirmation des expériences faites avec les globes anémogènes. Nous allons décrire ces expériences, mais il est nécessaire auparavant, de donner un aperçu des appareils et d'en faire comprendre le mécanisme.

Les globes anémogènes sont de deux types différents : le premier se compose d'une sphère mobile autour de son axe et plongée dans l'air ambiant : c'est l'*anémogène aérien*.

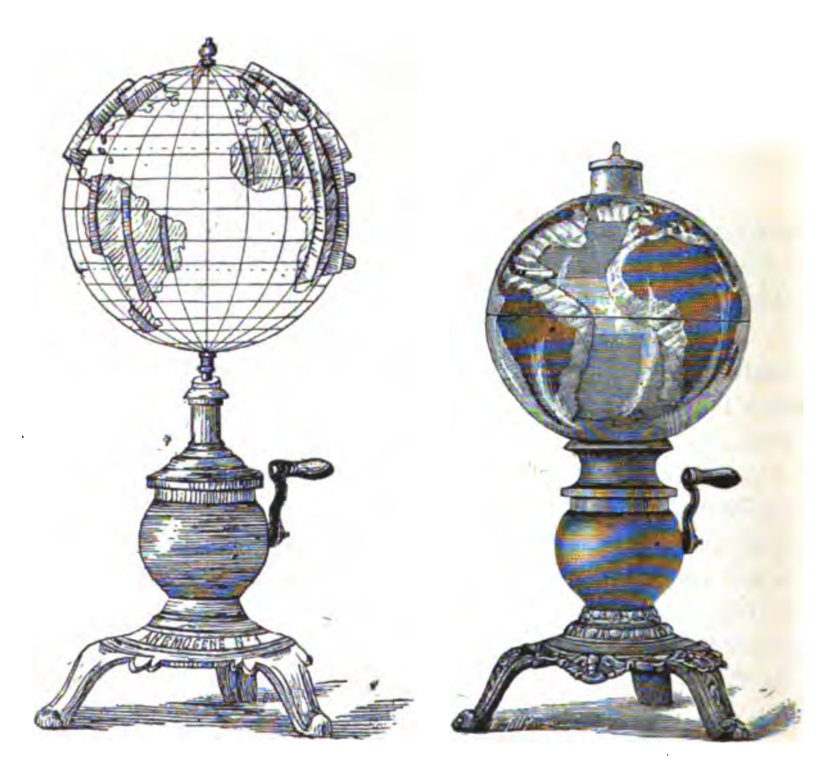
Le second consiste aussi en une sphère mobile autour de son axe, mais plongée dans l'eau : c'est l'*anémogène hydraulique*.

Leur théorie repose sur une hypothèse commune, dont l'expérience montre l'exactitude :

« Une sphère, semblable à la sphère terrestre, étant en rotation dans un milieu moins dense qu'elle-même, milieu liquide ou gazeux, doit y produire des courants semblables aux courants atmosphériques.

(1) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.

» Sur l'anémogène aérien, les courants de l'atmosphère sont jalonnés par des petits signaux mobiles. Des girouettes à lames horizontales et des moulinets à ailes verticales indiquent, aux points principaux des océans et des continents, la direction des vents, leur marche ascendante ou descendante. Les saillies des continents sont fortement exagérées, pour être moins dispropor-



tionnées avec la hauteur nécessaire aux girouettes. L'appareil met l'air en mouvement, à la façon d'un ventilateur, dont les ailes seraient les saillies des continents.

» L'anémogène hydraulique est constitué par une petite sphère en rotation dans un globe de cristal, plein d'un liquide transparent. Les mouvements du liquide sont rendus visibles par de légers flotteurs qui en jalonnent les courants.

» Inférieur à l'anémogène aérien, pour la reproduction détaillée des phénomènes de la surface intertropicale du globe, l'anémogène hydraulique lui est supérieur, au contraire, pour la reproduction des phénomènes qui ont lieu sur la surface extratropicale et des mouvements qui règnent dans les hautes régions de l'at-

mosphère. Il permet, en particulier, d'étudier le mécanisme de formation des bourrasques et des tempêtes de nos contrées.

» Cela tient à ce que son enveloppe liquide, au lieu d'être indéfinie, comme celle de l'anémogène aérien, est circonscrite par les parois du globe extérieur.

» Une fois le mouvement communiqué au milieu ambiant, il n'y pénétre pas de molécules étrangères, venant y porter une force nouvelle d'action ou d'inertie.

» Les deux appareils se complétent l'un l'autre (1). »

On peut réaliser diverses expériences avec les globes de Mgr Rougerie.

1° Mettons en mouvement l'anémogène aérien et laissons-le s'arrêter après quelques instants. Nous constaterons que les girouettes mobiles donnent, en chaque point, la direction réelle des alizés ;

2° Présentons devant le globe en mouvement un moulinet mobile. L'existence vers l'équateur d'un courant ascendant de grande puissance se manifeste aussitôt par la rotation rapide de la petite turbine.

Dans la zone comprise, pour chaque hémisphère, entre le 30° et le 40°, le moulinet tourne en sens inverse, accusant ainsi la réalité d'un courant descendant.

Dans les régions intermédiaires, situées entre l'équateur et le 30°, les courants verticaux n'existent pas, les vents ont une direction rasante, le moulinet reste immobile ;

3° Si l'on examine de près l'anémogène hydraulique, on voit, pendant la rotation de l'appareil, les flotteurs se diriger à la surface du globe, en sens contraire du mouvement, suivant la direction des alizés. Ce phénomène s'observe d'une façon très nette dans la région du golfe des Antilles.

Du reste, afin de rendre plus manifeste la conformité des vents artificiels avec ceux de la nature dans la zone intertropicale, Mgr Rougerie a dressé, au moyenne de l'anémogène, deux cartes des vents pour le bassin de l'Atlantique (2).

On peut les comparer avec celles de la marine. Ces dernières. au nombre de quatre, nous donnent la direction et l'intensité des courants aériens pendant chaque saison (3).

(1) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.
(2) Voir cartes VII et VIII, pl. 109.
(3) Voir cartes III-VI, pl. 108.

Un mot, d'abord, sur la construction de ces différentes cartes :

« Celles de la marine sont dues au lieutenant Brault. Elles sont divisées en rectangles de 5° de côtés. Au centre de ces rectangles, un petit cercle intérieur contient le nombre d'observations recueillies dans ce rectangle. De sa circonférence émanent des flèches, dont la longueur et la nature représentent la direction et l'intensité probable des vents au point considéré. Les longueurs des flèches sont proportionnelles à la fréquence des vents qu'elles représentent (1).

» Quant aux cartes de l'anémogène, voici comment elles ont été construites. Le globe est divisé également en carrés. Au centre de chaque carré s'élève normalement, à la surface, la tige d'une girouette. Du pied de cette tige comme centre, rayonnent vers l'extérieur seize lignes numérotées, correspondant aux seize rhumbs de la rose des vents. L'observateur fait tourner l'appareil, et, chaque fois que le mouvement vient à cesser, il constate pour chaque carré le rhumb sur lequel est arrêtée la girouette. Il le note par un point, sur la ligne même du rhumb, à partir du centre.

» Dans les cartes de Brault, on attribue un longueur de 17 *mm* aux flèches dirigées suivant le rhumb le plus riche en observations, et l'on prend pour les flèches de chacun des autres rhumbs, une fraction de cette longueur proportionnelle aux observations qu'il a fournies.

» Dans les cartes de l'anémogène, afin de rendre les résultats comparables avec les précédents, on pousse les observations jusqu'à ce que la girouette d'un même carré se soit arrêtée 17 fois sur le même rhumb. Il n'y a plus alors qu'à transcrire sur la carte, en lignes de longueurs proportionnelles, les roses marquées à la surface de l'appareil par les lignes de points.

» Enfin, deux séries d'observations ont été faites sur l'anémogène aérien : dans la première, les continents étaient exagérés en hauteur proportionnelle un peu plus de 100 fois ; dans la deuxième, plus de 300 fois.

» La carte dressée d'après les résultats de la première série d'observations est dite carte de l'anémogène I, celle obtenue avec la deuxième série, carte de l'anémogène II. L'étude comparative de ces deux cartes montre qu'une plus ou moins grande exagé-

(1) Voir carte II, pl. 108.

ration dans le système des aspérités terrestres ne change pas sensiblement les résultats (1) (2). »

Ceci posé, nous pouvons mettre en parallèle les cartes des vents artificiels avec celles de la marine. Nous y trouverons les mêmes courants, les mêmes directions caractéristiques. La succession des saisons produit, il est vrai, certaines différences dans les mouvements de l'atmosphère; mais une courte description nous montrera qu'elles sont très peu sensibles, et qu'elles ne peuvent, en conséquence, infirmer la thèse de Mgr Rougerie.

« Pendant la période d'hiver (3), les vents affectent, dans l'hémisphère nord, une grande régularité sur toute la zone comprise entre le 5° et le 25° N. Ils soufflent avec une extrême constance du N.-N.-E. près de l'Afrique, et de l'E.-E.-N.-E. au large de l'ancien monde jusqu'en Amérique.

» Dans l'Atlantique sud, du 2° au 3° N. jusqu'au 35° S., les vents soufflent avec régularité du S.-E. près de l'Afrique, et de l'E.-S.-E. au large de l'ancien monde, jusqu'au delà de l'équateur et jusqu'en Amérique.

» L'alizé du S.-E. franchit toujours l'équateur. Sa rencontre avec celui du N.-E. se produit entre l'équateur et le 5° N., en général du 2° au 3°.

» Au printemps (4), les alizés se rencontrent sur le parallèle 5° N. L'alizé du N.-E. franchit parfois, mais rarement, l'équateur en certains points.

» En été (5), la rencontre des alizés a lieu vers le 10° N. Du 10° au 35° règne l'alizé du N.-E. le long de la côte de l'ancien monde, et, de là, jusqu'aux Antilles, le long des parallèles 15° à 25°. L'aire *de ce vent paraît remontée un peu vers le nord, et rétrécie en cette saison.* Par exception, il atteint l'équateur et le franchit en deux points (vers les carrés 321-322 et 289).

» La saison d'été offre donc ce fait remarquable que les souffles de l'alizé S.-E. pénètrent dans l'Atlantique nord jusqu'au delà du 15° (n° 250), et que réciproquement les souffles de l'alizé N.-E. franchissent l'équateur et pénètrent sur deux points dans l'hémisphère méridional. Le champ de lutte des alizés dépasse donc, en cette saison, une largeur de 20°, soit 2 300 *km*, et sur un faible

(1) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.
(2) Voir cartes VII et VIII, pl. 109.
(3) Voir carte III, pl. 108.
(4) Voir carte IV, pl. 108.
(5) Voir carte V, pl. 108.

espace (nos 286-287), *l'alizé N.-E. se trouve renversé près de la côte d'Afrique et de celle de l'Inde, en mousson du S.-O.*

» Pendant l'automne (1), la rencontre des alizés a lieu sur le parallèle 5° N.; l'alizé du N.-E. semble franchir l'équateur (nos 321 et 322) ; l'alizé du S.-E. le franchit presque toujours, et paraît aller souvent jusqu'au tropique du Cancer.

» En définitive, nous pouvons dire de la zone intertropicale que sa limite septentrionale serpente en janvier, février, mars, du 30° au 40° N., fort loin par conséquent du tropique du Cancer, et que sa limite méridionale oscille au delà du tropique du Capricorne, du 30° au 35° S., dans la mer des Indes, traverse obliquement l'Atlantique sud, de la pointe de l'Afrique (35°) à Bahia (15°), et varie sur le Pacifique du 30° au 45°. En juillet, août, septembre, elle se modifie dans quelques détails, tout en occupant à peu près les mêmes parages, et en gardant sensiblement les mêmes directions.

» Quant à la ligne de rencontre des alizés, elle se déplace seulement du 3° N. au 10°, suivant les saisons (2). »

Nous avions donc raison de dire que la succession des saisons produit des changements peu considérables dans le système des vents de la région intertropicale.

Ces changements sont, du reste, faciles à expliquer, si l'on considère que les mouvements de l'atmosphère, comme tous les phénomènes de la nature, résultent de la combinaison de diverses forces en jeu, forces dont l'intensité et la direction varient dans une large mesure.

Trois causes nous apparaissent, en effet, pour produire les courants aériens : *la chaleur solaire, la translation de la terre sur son orbite et la rotation du globe autour de son axe.*

Les effets dus aux deux premières causes varient avec les saisons et les régions considérées, ceux qui proviennent de la rotation terrestre sont constants à toute époque, pour un point quelconque du globe, mais diffèrent avec le point choisi.

Les saisons doivent donc produire des variations avec le système des vents ; mais ces variations considérables, ainsi que nous le verrons, dans les zones extratropicales, ont peu d'importance dans la région moyenne qui nous occupe, *parce que, dans cette région, la force centrifuge l'emporte de beaucoup sur les deux autres.*

C'est l'enseignement qui résulte pour nous des expériences de

(1) Voir carte VI, pl. 108.
(2) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.

l'anémogène, et de la conformité entre les traits caractéristiques des cartes des vents artificiels et des vents de la nature.

L'action du soleil, pour la région moyenne, se borne *à déplacer la zone de résistance minima à la force centrifuge*. Lorsqu'il avance en été vers le tropique du Cancer, il diminue la densité des couches atmosphériques dans les régions septentrionales, voisines de l'équateur. La zone de résistance minima à la force centrifuge se trouve un peu remontée vers le nord, et ainsi s'explique le déplacement dans ce sens de l'aire de l'alizé septentrional, ainsi que de la ligne de rencontre des deux vents réguliers.

Nous pourrions terminer ici l'étude de la zone intertropicale, si nous n'avions à répondre à trois questions, qui se présentent à l'esprit :

1° Pourquoi la rencontre des alizés se produit-elle, non pas sur l'équateur, ainsi que la symétrie semblerait l'exiger, mais sur une ligne située au nord de ce grand cercle, et se déplaçant du 3° au 10° ?

Ce résultat provient de l'inégalité entre la surface des continents et des mers dans les deux hémisphères. Dans la région intertropicale, l'hémisphère sud présente une surface d'océans bien plus grande que l'hémisphère nord. Les mouvements de l'air sont moins contrariés dans le premier que dans le second où dominent les continents ;

2° Comment expliquer la tendance des alizés, sur la côte africaine, à s'écarter de leur direction générale pour souffler vers la côte ? (1)

Cet effet est dû à ce que le continent africain, par suite de son relief et de sa situation géographique, forme comme un écran dominant l'océan Atlantique, et placé à l'est de ce même océan. La terre tournant de l'ouest à l'est, l'écran fend l'atmosphère et crée, dans son sillage, un vide relatif. Un appel d'air est ainsi produit, les vents alizés se rapprochent de la côte, en se détournant de la direction générale. Ce phénomène, parfaitement visible sur l'anémogène, est une confirmation de notre théorie ;

3° Enfin le phénomène du renversement des moussons dans la mer des Indes et sur la côte de Guinée, généralement attribué à l'action solaire, paraît à certains esprits une objection sérieuse contre le système de la production mécanique des courants aériens (2).

(1) Voir cartes IX et X, pl. 109.
(2) Voir cartes IX et X, pl. 109.

Il n'en est rien cependant. Car si nous ne nions pas l'influence du soleil dans ce phénomène, nous pouvons aussi en donner une explication rationnelle, dans notre hypothèse.

Il suffit de tenir compte du mouvement de translation de la terre sur son orbite autour du soleil. La force qui naît dans cette translation dépasse tout ce que l'on peut imaginer; en effet, si la terre tourne sur elle-même avec une vitesse *de 475 m* à l'équateur, elle se déplace sur son orbite, dans le plan de l'écliptique, avec une vitesse 75 *fois plus grande*. Une pareille force peut-elle rester sans effet sur les mouvements de l'atmosphère?

Or nous allons montrer qu'elle est tantôt de même sens que la force née de la rotation terrestre, tantôt de sens contraire. Dans le premier cas, les deux forces s'ajoutent; dans le second, l'effet de la translation l'emporte sur celui qui provient de la rotation; il en résulte un renversement des courants aériens sur certaines côtes.

Nous rappellerons d'abord que le plan de l'écliptique fait un angle de 23° 28′ avec celui de l'équateur de la sphère céleste, et qu'il le coupe suivant un diamètre de cette sphère, désigné sous le nom de *ligne des équinoxes*. Le diamètre perpendiculaire au précédent est *la ligne des solstices*.

Au solstice d'hiver, la terre se trouve au-dessus du plan de l'équateur au point le plus élevé de sa course.

Au solstice d'été, elle occupe la position symétrique par rapport au centre de la sphère céleste. Par conséquent, du *solstice d'hiver au solstice d'été, elle descend de son orbite; dans la période suivante, elle remonte.*

Or, la grande chaîne de l'Himalaya forme comme un immense écran au nord de la mer des Indes. Les montagnes de la Guinée jouent le même rôle par rapport à la partie de l'océan qui baigne les côtes de cette région. Quand la terre descend sur son orbite, cet écran refoule l'air devant lui, et le chasse vers la mer dans la direction de l'alizé, du nord-est au sud-ouest. L'effet dû à la translation du globe s'ajoute, dans ce cas, à celui qui provient de sa rotation.

Au contraire, lorsque la terre s'élève sur son orbite, après le solstice d'été, les deux effets sont de sens contraire; le premier l'emporte, et l'écran attire dans le vide de son sillage les vents de l'océan Indien et du golfe de Guinée en moussons du sud-ouest.

Au reste, l'action du soleil s'exerce dans le même sens que la force née de la translation du globe.

On conçoit donc que le renversement des moussons se manifeste d'une façon aussi nette et aussi puissante ; et l'on trouve, dans ce phénomène, un exemple frappant des variations produites au sein de l'atmosphère par la combinaison des trois forces principales qui se diputent l'empire des airs.

Nous avons terminé l'étude des courants aériens dans la région moyenne du globe. Nous allons maintenant examiner les mouvements qui ont lieu dans les zones extratropicales. Ces zones s'étendent dans chaque hémisphère du 30° environ jusqu'aux pôles.

Sur ces régions des petits cercles parallèles et des petites vitesses de rotation, les phénomènes atmosphériques se passent d'une tout autre manière que sur les grands cercles de latitude : il y a lutte incessante entre les effets directs et les effets indirects de la force centrifuge.

Mais quels sont ces effets indirects ? Entre le 30° et le 40° de latitude (1), l'appel d'air vers l'équateur tend encore à attirer des courants dans le sens des alizés ; mais ces courants se heurtent contre les masses d'air qui, après avoir été projetées dans les hautes régions équatoriales, redescendent par leur poids sur la surface de la terre et s'épandent sur le sol dans toutes les directions. Une lutte s'établit entre les courants descendants, les vents de surface et les courants ascendants, produits par la force centrifuge, propre aux régions considérées.

De là, une extrême variabilité dans les vents qui, en peu de jours, soufflent de tous les rhumbs du compas (2). De là, aussi, ces *dépressions barométriques ou cyclones*, ces pressions ou *anticyclones* qui envahissent nos contrées, se succédant sans loi apparente. D'énormes paquets d'air, arrêtés dans leur course descendante, par le choc des courants inférieurs, passent à travers les hautes régions de l'atmosphère, de la zone intertropicale dans les zones plus rapprochées des pôles. Ils y arrivent ayant conservé une partie de la forte impulsion vers l'orient que les régions des grands cercles leur ont imprimée ; ils reviennent vers la terre avec une vitesse de rotation supérieure à celle des petits cercles, progressant sans cesse vers l'est-nord-est sur l'hémisphère nord, et vers l'est-sud-est sur l'hémisphère sud. Dans leur marche impétueuse, ils rencontrent les courants inférieurs, nés dans ces latitudes, en bouleversent la direction, et traversent l'atmosphère aux points

(1) Voir carte I, pl. 108.
(2) Voir carte III, pl. 108.

de résistance minima, en faisant des trouées ascendantes ou descendantes, qui, chaque jour, marquent le centre du tourbillon.

Vers le 60° de latitude nord et sud, on constate, *sur les mers*, l'existence de dépressions habituelles et très prononcées. Ce sont deux régions de résistance minima, dans lesquelles la force centrifuge l'emporte. Elle projette l'air vers le zénith. Il en résulte un vide et des vents rasants et convergents, qui soufflent au-dessus des océans, en dominance du sud-ouest dans l'hémisphère boréal, et du nord-ouest dans l'hémisphère austral. Ces vents sont appelés par les marins *contre-alizés* (1).

A l'encontre des courants réguliers de la zone intertropicale, *ils se dirigent vers l'est*, parce que, venant de latitudes plus rapprochées de l'équateur, ils sont animés d'une vitesse de rotation supérieure à celle des petits cercles.

Le cycle se ferme, comme précédemment, par un contre-alizé supérieur ou vent de retour, qui redescend sur la terre entre le 30° et le 40° (2).

Enfin, l'aspiration qui se produit au-dessus des mers dans la région des cercles polaires nous contraint à admettre des vents dirigés des pôles vers ces mêmes cercles, c'est-à-dire vers le 60°, en sens contraire des contre-alizés, ainsi que des courants descendants vers les pôles, pour compléter le nouveau cycle.

Mais, si les dépressions règnent habituellement sur les océans dans les zones des cercles polaires, il n'en est pas de même *sur les continents*. La Russie septentrionale, la Sibérie, l'Amérique du Nord sont le siège de hautes pressions presque continuelles en hiver, tandis que, pendant l'été, nous y voyons également apparaître les dépressions comme sur les mers.

Comment expliquer ces changements dans le sens des courants d'une même zone?

Il nous semble difficile de ne pas reconnaître un effet de l'inégalité de l'action solaire aux différentes époques.

En hiver, les continents se refroidissent considérablement sous ces latitudes élevées, la densité des couches d'air voisines du sol augmente, et la force centrifuge très réduite sur les petits cercles, ne peut plus vaincre la pesanteur qui entraîne vers la surface les masses d'air des régions élevées.

Pendant l'été, la densité de l'atmosphère diminuant au-dessus des continents, la force centrifuge l'emporte en général.

(1) Voir carte III, pl. 108.
(2) Voir carte I, pl. 108.

Sur les océans, au contraire, le refroidissement est bien moindre, premièrement, parce que l'eau possède une chaleur spécifique beaucoup plus élevée que le sol des continents, et, en second lieu, parce que des courants puissants viennent sans cesse réchauffer ces parages. Les variations de la densité des couches d'air sont donc peu importantes, et ainsi s'explique la prépondérance des effets directs de la force centrifuge, prépondérance qui se manifeste par l'existence de dépressions habituelles.

La théorie de Mgr Rougerie nous a permis d'indiquer la cause de la variabilité des vents dans les régions extratropicales, ainsi que le mécanisme de transformation des tempêtes dans nos contrées. Elle nous donne encore l'explication d'un *phénomène caractéristique de la circulation aérienne dans le bassin de l'Atlantique.*

En effet, si l'on examine les cartes de la marine, on constate de suite (1) :

1° Que les vents de l'Atlantique nord semblent sortir du centre de ce bassin (carré 176, par 35° lat. N. et 47° long. O), ou plutôt d'une ligne centrale de ce bassin, conformément à la marche des aiguilles d'un montre ;

2° Que, dans l'Atlantique sud (n° 395), les vents sortent de la ligne centrale en sens inverse.

De plus, l'observation nous apprend que ces lignes centrales sont des zones de haute pression.

Or, les expériences de l'anémogène nous ont démontré la réalité des courants descendants entre le 30° et le 40° de latitude nord et sud. Ces masses d'air, par suite de leur progression constante vers l'est, se dirigent, en tourbillonnant, vers le centre de pression qui forme le sommet du cône ou, plus exactement, de la volute aérienne; et le sens du mouvement doit être celui que l'observation nous révèle, c'est-à-dire conforme à la marche des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère boréal, et inverse dans l'hémisphère austral.

Du centre de pression, les courants s'élancent en éventail dans toutes les directions. L'aspiration puissante de la région équatoriale en attire la plus grande partie sous forme de vents réguliers; le reste se dirige dans tous les sens vers les zones extratropicales; et de la lutte de ces courants avec ceux qui naissent sous ces latitudes, résulte la variabilité extrême que nous remarquons entre le 35° et le 45°.

(1) Voir cartes IX et X, pl. 109.

La prépondérance de la force centrifuge dans la formation des courants atmosphériques nous semble nettement établie par tout ce qui précède. Nous ne nous arrêterons pas au détail des vents que l'anémogène ne peut encore reproduire dans les régions extratropicales.

Ce fait provient assurément de la suppression de l'action solaire, qui ne peut intervenir dans les expériences, comme dans la réalité des choses ; mais il est dû aussi à l'imperfection de l'appareil et, en particulier, à l'étendue indéfinie de l'atmosphère qui l'entoure.

Nous en trouvons la preuve dans l'examen attentif de l'anémogène hydraulique. L'atmosphère se trouvant dans ce cas limitée par le globe extérieur, les courants des régions élevées ne sont pas influencés par l'inertie de l'atmosphère ambiante. On peut, au au moyen des flotteurs, reconnaître la marche de ces courants et constater des phénomènes analogues aux bourrasques. Sur certains parages, ces flotteurs s'élèvent brusquement, pendant qu'au contraire ceux des parages circonvoisins descendent vers la surface du sol. Quelquefois même le mouvement des flotteurs ascendants affecte la forme d'*une spirale*, tourbillonnant dans le sens des aiguilles d'une montre sur l'hémisphère austral, et en sens inverse sur l'hémisphère sud.

Du reste, d'importants perfectionnements seront bientôt apportés à l'anémogène aérien, dans l'ordre des idées que nous venons d'exposer. Ils permettront sans doute de déterminer d'une façon plus complète la part de la force centrifuge et celle du soleil dans la production des courants des zones extratropicales.

Avant de terminer cet exposé des mouvements atmosphériques, il est intéressant de voir les relations que Mgr Rougerie établit, dans son système, entre ces mouvements et les phénomènes qui les accompagnent : variations du baromètre, sécheresse, pluie, grêle...

« *Le centre d'une dépression atmosphérique*, nous dit-il, *est toujours placé sous l'aspiration d'un courant ascendant.* » Le mercure monte dans la petite branche du baromètre, et baisse dans la grande.

« *Tout centre de pression atmosphérique est au contraire situé sous les souffles d'un courant descendant.* »

L'existence de courants verticaux dans l'atmosphère est constatée au moyen des clino-anémomètres, et l'on reconnaît en effet qu'ils se produisent au-dessus des centres de pression ou de dépression.

L'observation du mouvement des nuages dans les régions élevées de l'atmosphère : *des cirrus*, nous donne aussi la preuve de la réalité de ces courants. Les cirrus ont un mouvement giratoire divergent au-dessus d'un centre de dépression; ils sont donc entraînés par un tourbillon ascendant. Au-dessus d'un centre de pression, au contraire, le mouvement giratoire des nuages est convergent, le tourbillon descend vers la terre.

Le mécanisme des courants verticaux de l'atmosphère est dé montré par l'anémogène. *La force centrifuge est le principe de ces courants, et se trouve ainsi être la cause prépondérante des variations barométriques.*

Dans une dépression barométrique, les courants naissent de l'aspiration produite par l'ascension de l'air au centre du cyclone « Ils se précipitent, en rasant le sol, obliquement et en sens con traire à la marche des aiguilles d'une montre, vers le point central de la dépression, ordinairement occupé par un calme. »

« Où s'écoule l'immense volume d'air qui s'engouffre dans la dépression et disparaît aux abords du centre? Il n'a qu'une issue possible : il fuit vers le zénith. »

De là résulte la première *loi des vents :*

« *Les vents d'une dépression barométrique convergent, dans notre hémisphère, contrairement à la marche des aiguilles d'une montre, et s'élèvent en hélice vers le centre de la dépression* (1). »

Du reste les courbes isobares d'une dépression se déplacent chaque jour, en changeant de forme ; les centres des cyclones de nos contrées marchent du sud-ouest vers nord-est. Nous avons expliqué plus haut la raison de cette progression vers l'est.

Dans les hautes pressions, les courants aériens descendent des régions élevées de l'atmosphère vers la surface du sol, au centre de pression. « Ce point est ordinairement occupé par un calme. De là les vents sortent obliquement et s'épandent dans toutes les directions, conformément à la marche des aiguilles d'une montre, pour aller s'engouffrer dans les dépressions. »

« D'où peut venir cette immense masse d'air, qui, pendant des jours, sort du centre de l'anticyclone, pour fuir dans toutes les directions? Elle n'a qu'une origine possible : les régions élevées de l'atmosphère, d'où elle descend en tourbillon vers la surface de la terre. »

On peut donc énoncer ainsi la seconde loi des vents :

(1) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.

Le vent sort des hautes pressions plus ou moins obliquement aux lignes isobares, et conformément à la marche des aiguilles d'une montre. Le courant principal de sortie s'étale sous forme d'éventail aux branches courbes, soufflant de préférence vers le sud, le sud-ouest et vers l'ouest. (1) »

Dans les pressions barométriques, les vents descendent des régions élevées de l'atmosphère; ils doivent donc apporter le froid et la sécheresse aux contrées qu'ils traversent.

On en trouve la preuve manifeste en jetant les yeux sur une mappemonde : on est frappé de voir presque tous les grands déserts compris dans une bande qui s'étend entre le 25° et le 40° de latitude, sur chaque hémisphère, c'est-à-dire dans la zone ou règnent en permanence les courants descendants.

C'est ainsi que, dans l'hémisphère nord, nous rencontrons, sous ces latitudes, les sables du Sahara en Afrique, les plaines arides du continent asiatique : Arabie, Beloutchistan, pays de Gobi ou Chamo, les plateaux desséchés de l'Amérique : région du Lac Salé et Montagnes Rocheuses.

L'hémisphère sud nous montre de même, sur une bande symétrique de la précédente, les déserts de la pointe d'Afrique, au nord de la colonie du Cap, les prairies immenses de l'Australie, les pampas de la Patagonie, où aucun arbre ne peut résister à l'action desséchante des vents.

Dans toutes ces contrées, le ciel reste toujours serein, et les différences de température sont extrêmes entre le jour et la nuit.

Un phénomène inverse se produit dans les dépressions. Les vents, en rasant les océans se chargent d'humidité; arrivés au centre du cyclone, ils s'élèvent, en laissant tomber sous forme de pluie ou de grêle, suivant leur température, l'eau qu'ils emportaient à l'état de vapeur.

Aussi, dans la région équatoriale, où la pression barométrique varie très peu, et reste toujours aux environs du minimum de sa valeur, des pluies torrentielles règnent-elles constamment. La hauteur d'eau qui tombe annuellement en un lieu, s'élève jusqu'à *20 mètres;* Les nuages dits du *Pot au noir* s'amoncellent sans cesse sur la tête du navigateur, pour lui préparer le *Baptême de la Ligne*.

Les effets des courants verticaux de l'atmosphère se manifestent ainsi, d'une façon permanente, dans les trois zones dont il

(1) *L'Anémogène*, par Mgr Rougerie.

vient d'être question. Il est facile de les reconnaître également dans nos contrées, à travers les perpétuelles variations du baromètre.

Quand le baromètre baisse, on se trouve sous les vents rasants d'une dépression qui s'avance. Il fait encore beau, mais on marche vers la pluie, le ciel se couvre, les vents précurseurs de la tempête s'élèvent. Dès que la courbe barométrique atteint le minimum, la pluie tombe dans la région, et elle continue pendant que le baromètre monte, jusqu'à ce que la courbe passe par un maximum.

Le beau temps reparaît alors et dure jusqu'au prochain minimum.

Nous venons de faire à la suite de Mgr Rougerie la synthèse des lois qui régissent les mouvements et les phénomènes de l'atmosphère.

Sans refuser à l'action solaire la part qui lui revient, nous avons reconnu la nécessité d'un principe différent, d'un principe dominant.

Courants réguliers, vents variables, tempêtes, pressions et dépressions barométriques, pluie, sécheresse... tout peut s'expliquer, en faisant intervenir l'action de la force centrifuge, développée dans la rotation du globe.

Il nous reste à montrer que cette action mécanique est encore la cause première des courants qui se meuvent sans cesse à la surface, comme dans les profondeurs des océans.

II. — Les courants marins. — Leur origine. Leur reproduction par le globe marin.

« Les courants marins sont d'énormes couches liquides, ayant parfois jusqu'à des milliers de kilomètres de largeur et des centaines de mètres de profondeur, qui se meuvent à travers les bassins océaniques.

» Ils ne sont en réalité autre chose que l'océan lui-même en mouvement, et, par eux, les eaux marines sont successivement promenées dans tous les parages de la sphère. Chaque gouttelette change continuellement de place dans les abîmes de la mer; elle descend jusqu'au fond ou remonte à la surface, elle se promène

de l'équateur au pôle, ou du pôle à l'équateur, et parcourt ainsi toutes les régions de l'océan (1). »

A lire cette description du savant géographe, E. Reclus, il semble bien difficile de saisir la loi qui régit des mouvements aussi complexes et surtout de remonter à la cause première qui les produit.

Il n'en est pourtant pas ainsi. Les caractères généraux de la circulation marine ont été établis par de nombreuses observations; Mgr Rougerie nous les décrit en ces termes :

« Des deux régions extra tropicales, nous dit-il, les eaux s'avancent par le fond des mers vers les parages de l'équateur; les deux nappes, venues du nord et du sud, s'y rencontrent et s'élèvent ensemble dans le plan du grand cercle; arrivées à la surface en un jet qui occupe le tour équatorial des océans, elles se déversent au nord et au sud de leur ligne d'émergence, et, par suite de leur inertie, restent en retard, dans le mouvement général de l'ouest à l'est. Les géographes ont appelé le courant jaillissant « *courant primaire* ou *contre-équatorial,* » et les deux courants déversés « *équatorial du nord* et *équatorial du sud.* » Ces deux courants, avançant d'abord vers l'Ouest, mettent en mouvement toute la surface de la mer, et produisent tous les courants secondaires, en les modelant sur les contours des rivages (2). »

Deux circuits continus s'établissent en définitive dans chaque océan : l'un dans la partie septentrionale du bassin, l'autre dans la partie méridionale.

Le premier tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, le second marche en sens inverse.

Dans ces circuits, *les eaux froides* se dirigent constamment, *par le fond des mers*, des pôles vers l'équateur, où elles viennent renouveler *les eaux chaudes de la surface.* Celles-ci sont déplacées, et poussées de l'équateur vers les pôles.

L'observation des phénomènes marins nous révèle ainsi la loi de la circulation océanique.

Cette loi étant la même pour les divers bassins, Mgr Rougerie en conclut qu'il doit exister *un principe moteur dominant*, auquel revient la part prépondérante dans la genèse des courants de la mer.

La chaleur solaire, l'évaporation excessive en certains parages, les pluies diluviennes en d'autres ne sont pour lui que des causes

(1) Elisée Reclus, *la Terre,* t. II, p. 73.
(2) Mgr Rougerie, *le Globe marin,* p. 11.

secondaires, insuffisantes à les expliquer dans leur mouvement général.

La cause première est la même que dans la circulation atmosphérique, *c'est la force centrifuge*, développée par la rotation du globe.

La terre, dans son mouvement autour de son axe, tend à soulever les masses liquides dans le plan des divers parallèles. Ce soulèvement est maximum à l'équateur : le vide qui en résulte, est donc plus intense dans cette région, et attire *les eaux sous-marines* de chaque hémisphère.

Les deux nappes, en se rencontrant, donnent naissance au courant primaire ascendant ou contre-équatorial.

Ce courant monte du fond à la surface, et se déverse de part et d'autre, en formant les deux courants équatoriaux. Ceux-ci coulent comme deux fleuves immenses, sans cesse alimentés par les eaux sous-marines, et transmettent ainsi l'impulsion de la force centrifuge aux eaux de la surface, en les entraînant dans la circulation générale.

Telle est l'hypothèse de Mgr Rougerie : elle est parfaitement légitime. C'est pour la vérifier qu'il a inventé son *Globe marin.* Lorsqu'on le met en mouvement, on assiste avec surprise à la genèse des courants principaux des océans. On les voit reproduits, avec une précision remarquable, par la seule force en jeu dans l'expérience : la force centrifuge développée par la rotation.

Mais laissons la parole à l'auteur pour nous décrire son instrument.

« Supposons un globe en cristal, sous la paroi intérieure duquel se dessinent les formes massives des continents et les bassins évidés des mers. Le fond des océans est constitué par une sphère intérieure, concentrique à la sphère en cristal, mobile sur un axe vertical, et pouvant être mise en rotation par un engrenage. Le creux des mers est rempli d'eau, et des parcelles de bougie stéarine, en suspension dans ce liquide, rendent visibles tous ses mouvements.

» L'extérieur de l'appareil diffère peu de l'aspect d'une sphère géographique. Sa valeur dépend surtout de l'exacte proportion des contours de ses continents et de ses mers, avec les contours des continents et des mers du globe terrestre. Quant à la profondeur proportionnelle des mers elles-mêmes, l'expérience montre qu'elle est sans grande influence, et qu'elle peut être négligée sans graves inconvénients.

» La mise en marche de l'appareil n'était pas sans offrir quelques difficultés, vu la direction à imprimer au globe, et la vitesse à donner aux courants.

» Le mode le plus simple était de lancer les continents et les mers dans le sens de la rotation terrestre, sous les yeux de l'observateur ; mais celui-ci, à cause de la vitesse, n'aurait pu percevoir aucun phénomène. Le mode le plus conforme à la nature était de faire tourner le globe avec l'observateur lui-même, les yeux fixés sur le point à observer. L'expérience en a été faite, et elle a donné de bons résultats ; mais il est peu pratique d'adopter un grand manège à un petit globe, et d'exposer au vertige l'observateur le plus solide.

» Il a donc fallu recourir à une mise en marche tout aussi rationnelle, mais plus pratique : elle consiste à laisser immobile la sphère extérieure et le spectateur lui-même, et à imprimer à la sphère intérieure seule un mouvement de rotation en sens inverse de celui du globe terrestre.

» L'on obtient de la sorte, aussi bien que si l'appareil entier tournait, l'adduction des molécules liquides vers l'équateur, et leur projection vers l'occident, ce qui suffit, l'expérience le démontre, pour déterminer dans chaque océan les courants qui lui sont propres. Par cet artifice, qui n'est qu'une simple interversion de relations entre deux corps en mouvement, au lieu de lancer de l'ouest les continents contre les mers, on lance de l'est les mers contre les continents, et l'effet produit est absolument le même. Ainsi le sillage d'un navire ne diffère pas, soit que le navire taille de sa proue une eau tranquille, soit qu'un courant se précipite contre la proue immobile. C'est là un théorème élémentaire en mécanique sur les mouvements relatifs.

» L'emploi de la sphère mobile intérieure présente du reste un autre avantage : elle permet de donner aux courants artificiels une vitesse très grande relativement à la vitesse naturelle des courants marins, et de les rendre perceptibles aux yeux du spectateur.

» On peut ainsi, à travers la paroi transparente du globe reproducteur, étudier, aussi bien que sur les meilleures cartes, les mouvements de la masse liquide.

» On constate que les courants artificiels rivalisent d'exactitude, dans les détails, comme dans l'ensemble, avec ceux des cartes des courants généraux, dressées par le capitaine de vaisseau de Kerhallet, et publiées par le Dépôt des cartes et plans de la marine fran-

çaise, avec ceux de la carte des courants marins de Berghaus, publiée à Gotha par Justus Perth, et avec ceux de la carte des courants marins de l'Amirauté anglaise.

» Bien plus, ces cartes, chefs-d'œuvre de l'hydrographie la plus avancée, ne semblent que lettre morte à l'observateur qui compare avec surprise aux lignes immobiles des courants dessinés sur le papier, les courants d'eau, vrais, animés, qui émergent, qui marchent à la surface, et qui disparaissent dans les profondeurs d'océans artificiels, dont la capacité dépasse de peu celle de quelques verres d'eau (1). »

Le globe marin nous donne donc, sur sa petite sphère, la reproduction fidèle et détaillée des mouvements de la mer.

Pour en donner la preuve complète, nous allons décrire à grands traits le système circulatoire dans les divers océans, tel que nous le montre l'appareil. En comparant ces indications avec celles de la carte générale, annexée à cette étude (2), on pourra constater la parfaite conformité des courants artificiels avec ceux de la nature.

Courants de l'océan Atlantique.

Considérons le bassin de l'Atlantique pendant le mouvement du globe.

Le courant contre-équatorial émerge du fond de la mer un peu au nord du grand cercle. Il occupe une bande de 5° de largeur environ, et se porte vers l'orient, à l'inverse des deux courants équatoriaux qui l'enclavent. Il se dirige vers le golfe de Guinée, et s'y retourne, pour rentrer dans le circuit général.

Dans l'hémispère sud, le courant équatorial coule d'abord franchement de l'est à l'ouest, allant de la côte de Guinée jusqu'au cap Saint-Roque en Amérique.

Là il est divisé en deux parties par la saillie du continent : l'une, la plus importante, marche vers le nord-ouest, sous le nom de courant de Guyane, et va rejoindre le courant équatorial du nord, pour former le Gulf-Stream.

L'autre partie, après avoir suivi la côte du Brésil du nord au sud, est déviée par les îles Malouines ou Falkland, au nord-est du cap Horn. Comme elle a acquis, sous l'équateur, une vitesse

(1) Mgr Rougerie, *le Globe marin*, p. 9-11.
(2) Voir carte générale des courants marins. fig. XI, pl. 109.

angulaire supérieure à celle des petits cercles, elle se porte maintenant de l'ouest vers l'est, à travers l'océan, y rencontre le grand courant traversier du Pacifique, rejeté dans le bassin de l'Atlantique, par la pointe du cap Horn, et coule de concert avec lui, sous forme de courant polaire de retour, jusque vers les côtes de Guinée.

L'hémisphère nord voit le courant équatorial correspondant s'élancer de l'est à l'ouest, et enclaver les Antilles dans ses eaux. La plus faible portion pénètre dans le golfe du Mexique, et en sort par le canal de la Floride et celui de Bahama, donnant ainsi naissance au Gulf-Stream. Entre les îles Bahama et les Bermudes, le Gulf-Stream est rejoint par la grande masse des eaux du courant équatorial et du courant de Guyane.

L'immense fleuve coule droit au nord jusqu'au cap Hattéras, puis il s'étale de plus en plus, et s'infléchit vers l'est à la hauteur du banc de Terre-Neuve.

Un peu plus loin, au nord des Açores, il se divise. L'une de ses branches : le courant polaire d'Afrique vient rafraîchir la côte occidentale de ce continent, en la suivant du nord au sud, jusqu'au Cap-Vert, où elle ferme le circuit. La branche nord-est du Gulf-Stream s'étend sur presque toute la surface de l'océan, et longe les côtes occidentales des Iles Britanniques, après avoir détaché une ramification : le courant de Gascogne et de Rennel.

Une partie de ces eaux va réchauffer la Norwège, s'enfonce dans les profondeurs des mers arctiques, qui baignent l'Europe et l'Asie septentrionales, pour reparaître dans le Pacifique, à travers le détroit de Behring.

Le reste contourne l'Islande et la pointe du Groëland, au cap Farewell, pénètre dans le dédale des détroits de l'Amérique du Nord, revient à l'état de courant polaire le long du Labrador et se replie devant le banc de Terre-Neuve, pour suivre la côte des États-Unis.

Ce courant polaire bien connu des navigateurs qui vont à New York, coule côte à côte et à l'encontre du Gulf-Stream. Quoique peu considérable en comparaison de ce dernier, on le trouve parfaitement reproduit sur le globe marin. Il en est de même pour le contre-courant des Antilles, qui longe le continent de l'isthme de Panama aux côtes de Colombie, en sens inverse du grand courant de Guyane.

Enfin on peut constater sur l'appareil une région de calme, comprise à l'intérieur du système circulatoire de l'Atlantique nord,

C'est la mer de Sargasse ou de varech, traversée par Christophe Colomb, immense espace triangulaire qui s'étend entre les Antilles, le Gulf-Stream, le groupe des Açores et l'archipel du Cap-Vert.

Courants de l'océan Pacifique.

Dans l'océan Pacifique, le courant contre-équatorial part de l'île Bornéo, et marche de l'ouest à l'est jusqu'au golfe de Panama. Là, il se brise contre la côte et rentre dans le circuit de l'hémisphère sud.

Le grand équatorial du sud forme l'une des parties de ce circuit. Il commence vers les îles Galapagos, et, après avoir coulé primitivement sur une largeur de 20°, de l'est à l'ouest, se divise en plusieurs branches, par suite des nombreux archipels qui parsèment l'océan.

Les unes entourent de leurs eaux les îles Samoa et de la Société, et se réunissent ensuite pour former deux courants : le premier, au nord de la Nouvelle-Guinée, allant alimenter le contre-équatorial ; le second, entre l'Australie et la Nouvelle-Guinée, se dirigeant vers l'océan Indien, sous le nom de courant de Rossel.

Les autres branches du grand équatorial, au nombre de deux, baignent les côtes occidentales de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande, laissent les îles Chatham dans un tournant de leurs flots, et pénètrent dans les mers antarctiques, où elles portent une partie de la chaleur des tropiques.

Par suite de sa vitesse angulaire supérieure à celle des petits cercles, l'énorme masse liquide se détourne peu à peu vers l'est et constitue le grand courant traversier du Pacifique.

Ce dernier se heurte contre la pointe de l'Amérique sud et se partage, à son tour, en trois ramifications : le courant du cap Horn, qui contourne l'archipel Magellan et les îles Falkland, et va, comme nous l'avons vu, se perdre dans le circuit de l'Atlantique sud ; le courant de Mentor ou branche du nord, qui s'éloigne de la côte américaine pour rejoindre l'équatorial en plein océan ; et enfin la branche du sud, la plus intéressante. Celle-ci longe les côtes de la Patagonie, du Chili et du Pérou, et leur apporte une fraîcheur bienfaisante. Elle rentre, sous le nom de courant de Humboldt, dans le grand équatorial, au sud des îles Galapagos.

Tous ces courants sont reproduits en détails par le globe marin, grâce à l'exactitude qui a été apportée dans sa construction. Un fait fera connaître les soins qui ont été nécessaires pour arriver à ce résultat.

Au début, Mgr Rougerie ne pouvait obtenir le courant si remarquable du cap Horn, entre la pointe de l'Amérique sud et les terres de l'océan Antarctique. Il s'aperçut bientôt d'un défaut de proportions dans la disposition relative des continents : un déplacement de quelques millimètres suffit à rétablir les choses dans leur réalité et à produire le courant en question.

Dans le circuit du bassin nord du Pacifique, l'équatorial pousse ses flots de la Californie jusqu'aux îles Philippines et envoie une partie alimenter le contre-équatorial, tandis que le reste forme le Kuro-Siwo ou Tessan, le fleuve noir des Japonais, qui réchauffe les côtes orientales de leur archipel.

Le Kuro-Siwo se reploie vers l'est, au sud des îles Aléoutiennes, donne naissance au Tournant de l'Alaska et se continue par le courant de la côte de Californie. Le circuit se clot, enfermant dans son tourbillon une mer de varech à peine moins grande que celle de l'Atlantique.

Au large de la côte californienne, nous remarquons le célèbre Tournant de Fleurieu, au nord des îles Sandwich. Vers l'extrémité de la presqu'île, une ramification de la grande masse devient le courant du Mexique et rentre dans le contre-équatorial, à la hauteur du golfe de Panama.

Notons enfin, au nord-est du Japon, le courant de Kamstchatka, un bras détaché du Kuro-Siwo, dont une partie des eaux va se perdre dans les mers arctiques, tandis que le restant contourne la presqu'île, parcourt la mer d'Okhotsk et vient refroidir la Chine en passant entre la Corée et l'archipel japonais.

Océan Indien.

Le système circulatoire de l'océan Indien présente des particularités remarquables, dues aux sinuosités accentuées de la côte et à la forme générale du bassin.

Au lieu de se prolonger vers le nord, comme l'Atlantique et le Pacifique, les mers de l'Inde sont bornées de ce côté par les terres tropicales. Il en résulte des modifications importantes dans le régime des courants.

Le contre-équatorial part de Mozambique et se partage bientôt en deux branches. L'une coule droit de l'ouest à l'est ; à la hauteur de Java, elle revient en arrière pour mêler ses eaux au courant équatorial.

L'autre monte d'abord vers le nord-est, s'infléchit au sud de Ceylan et parcourt le golfe de Bengale. Elle traverse l'archipel de

la Sonde et va se perdre dans le Pacifique par le détroit de Torrès.

Une ramification s'en détache vers la pointe de l'Indoustan et forme un circuit dans la mer d'Oman.

Les courants équatoriaux ne sont pas séparés dans l'océan Indien par le contre-équatorial ; ils sont réunis, au sud de ce dernier, en un flot unique, coulant de l'est à l'ouest, sous le 15° de latitude.

Avant d'arriver à Madagascar, cette masse se divise en deux parties principales. La branche nord-est passe au-dessus de l'île, se replie du nord au sud pour former, le long du continent africain, le courant du Mozambique et celui des Aiguilles.

Ce fleuve impétueux, dont la vitesse égale celle du Gulf-Stream, est bientôt grossi par le bras sud-ouest de l'équatorial ; mais sa puissance vient se briser, à la pointe d'Afrique, contre la masse de l'Atlantique qui s'avance en sens contraire.

Le contre-courant du Cap ou courant traversier de l'océan Indien résulte de cette rencontre. Obéissant à l'impulsion vers l'orient, acquise dans la région tropicale, il marche de l'ouest à l'est, sur la pointe sud-ouest de l'Australie, qui le coupe en deux parties. L'une suit la côte méridionale de cette grande île, passe des deux côtés de la Tasmanie, et disparaît dans le Grand Océan. L'autre forme le grand tournant ouest de l'Australie et rentre dans le circuit général.

Nous avons décrit tous les courants que l'on peut suivre sur le globe marin.

Il est juste d'ajouter que l'appareil ne reproduit pas en général ceux des mers intérieures : Méditerranée, Baltique, mer Rouge.

Ceci provient uniquement de l'insuffisance des dimensions de la sphère. On ne peut en tirer une objection contre le principe de la force centrifuge ; et l'on reste, au contraire, émerveillé des résultats obtenus au moyen d'un instrument aussi rudimentaire, d'un simple globe, dont le diamètre ne dépasse pas 0,25 *m*.

Il nous sera donc permis d'exprimer, en finissant, le vœu que les théories et les appareils de Mgr Rougerie se répandent dans l'enseignement classique.

Les expériences que nous avons relatées peuvent être répétées par tous : elles contribueront à développer le goût de la météorologie et de l'hydrologie. Elles fourniront à l'étude des mouvements de l'air et des eaux le principe et la méthode, qui lui manquaient, pour s'élever à la hauteur d'une science véritable.

ALIMENTATION

DES

GÉNÉRATEURS PAR REFOULEMENT D'EAU

DANS LA VAPEUR

OBSERVATIONS SUR LE DISPOSITIF

PAR

M. A. CARCENAT

Nous avons récemment remarqué diverses détériorations sur des pièces de tuyauteries des chaudières en contacts périodiques avec l'eau froide et la vapeur ; comme l'examen des pièces avariées peut donner lieu à des recherches plus ou moins intéressantes et mettre sur la trace des causes encore ignorées de certains accidents, nous avons cru devoir attirer de nouveau l'attention de la Société sur la question, d'ailleurs inépuisable, des organes des chaudières à vapeur.

C'est à la suite de l'application du système d'alimentation, dite en pleine vapeur, que les faits se sont produits ; nous croyons donc devoir d'abord dire quelques mots sur ce procédé qui, appliqué depuis déjà longtemps, tend à se vulgariser dans l'établissement des générateurs.

Il y a plusieurs moyens de combattre la formation des dépôts solides dans les chaudières ; le plus efficace est, sans contredit, l'épuration préalable de l'eau d'alimentation ; mais ce système, très recommandable lorsqu'il s'agit de groupes importants, est peu employé pour de petits générateurs isolés à cause des frais d'installation qui sont assez élevés. On a essayé et on essaie encore divers produits, dits désincrustants ou plutôt antitartriques ; nous avons eu occasion, dans une note précédente, de donner un avis sur ces divers ingrédients, nous n'y reviendrons pas, non plus que sur les engins fondés sur l'action électrique par le contact des métaux.

L'alimentation par injection d'eau dans la vapeur est un autre

genre de préservatif contre les incrustations dures ; le dispositif consiste, vous le savez, à projeter l'eau froide par les Giffards ou les pompes alimentaires dans le corps cylindrique, au-desus du niveau normal de l'eau chaude, dans la capacité réservée à la vapeur aussi loin que possible du dôme et du foyer.

On obtient ainsi une sorte de pulvérisation subite de l'eau injectée ; les sels minéraux en dissolution sont précipités, les uns, à l'état presque solide s'incrustent contre la paroi supérieure de la chaudière ou contre un diaphragme mobile facile à nettoyer, les autres, en majeure quantité à l'état de poudre impalpable qui se transforme en boues qu'on peut extraire à l'aide de boîtes à vidanges, tampons de visites ou robinets d'extraction convenablement disposés.

Les dessins que nous présentons indiquentsommairement quelques assemblages de tubulures pour l'introduction de l'eau dans la chaudière. Tantôt l'eau arrive sur le côté, horizontalement (*fig.* 7) ou suivant une certaine inclinaison (*fig. 6, pl. 110*), dans les chaudières tubulaires ou à foyer intérieur sans enveloppes en maçonnerie ; tantôt dans les chaudières à bouilleurs par une tubulure verticale placée à l'arrière, et remplaçant le tuyau à (*fig. 3*) fourchette plongeant dans les bouilleurs à travers les cuissards.

Dans une de ces dernières, nous avions introduit une sorte de récipient qui devait retenir au passage les boues précipitées (*A fig. 3*).

Ces divers systèmes ont bien fonctionné tant qu'on a alimenté avec un injecteur à marche continue ; aucune anomalie ne s'est produite. Mais le résultat a été différent, lorsqu'on s'est servi de pompes alimentaires à débit intermittent ; des bruits ou chocs violents se sont manifestés dans la tubulure d'introduction de l'eau et même à l'intérieur de la chaudière ; c'étaient des sortes de détonations intérieures, indépendantes de la marche du piston de la pompe, tout à fait irrégulières, et qui ne cessaient que par l'arrêt de l'alimentation ou la mise en marche du Giffard.

En visitant l'intérieur de la chaudière à bouilleurs au bout de quelques semaines, nous avons retiré la boîte à boue totalement aplatie.

Quant à la tubulure latérale placée horizontalement sur une chaudière tubulaire, elle s'est trouvée rapidement avariée dans les conditions suivantes : le tube intérieur horizontal K a été pour ainsi dire déchiré et s'est détaché en pièces, celui que nous présentons a été également atteint et presque détruit.

Nous avons retiré ce bout de tuyau et continué à alimenter simplement à travers la tubulure en fonte *t (fig. 7 et 8)*, interposée entre le corps cylindrique et le clapet règlementaire ; les crépitations ont continué avec autant de violence, et un jour, ayant constaté à la partie supérieure un suintement de vapeur, on a démonté cette pièce que nous soumettons à votre examen ; il s'est fait là un énorme travail de destruction, par éclats successifs violemment arrachés, et laissant à leur place des sortes de cupules sphéroïdales sur toute la surface intérieure.

La rupture était évidemment imminente ; elle aurait amené une irruption de vapeur dans la salle de la chaudière avec des conséquences sans doute moins graves qu'une irruption d'eau, mais en tout cas une interruption de service.

Disons de suite qu'il a suffi de remplacer le bec horizontal d'introduction d'eau par un bec courbé, suivant *k'* les indications de la figure 8, ou par une tubulure inclinée de bas en haut *(fig. 6)* pour faire disparaître de suite les chocs et détonations dans les chaudières tubulaires horizontales.

En ce qui concerne les chaudières à bouilleurs, nous avons remplacé la tubulure droite plongeante par un tube recourbé en forme de crochet *(fig. 1 et 2)* se maintenant constamment plein d'eau, le même bon résultat a été obtenu, et la boîte à dépôts boueux A' est restée intacte.

Quelles sont les causes de détérioration du métal? On peut tout d'abord supposer que les excoriations, ou corrosions, sont le résultat de phénomènes analogues à ceux qui se passent dans l'âme des canons pendant l'explosion.

On pourrait aussi comparer le résultat aux cupules bien connues qu'on observe dans certaines météorites, et qui sont attribuées aux chocs qu'elles éprouvent en pénétrant dans l'atmosphère avec une extrême vitesse.

On peut également émettre l'hypothèse d'une action mécanique considérable, produite par l'énorme quantité de calories mises en liberté à chaque période d'envahissement de la tubulure par l'eau froide, et leur tranformation en travail destructeur du métal.

Il est possible, d'ailleurs, que les alternances de chaleur et de froid produites par les envahissements subits et successifs de la tubulure, par l'eau d'alimentation et par la vapeur, produisent des différences de dilatation tellement considérables que le métal finisse par se disloquer et se détacher dans les parties superficielles.

Quelle que soit la cause de ces dégradations, l'aspect seul des

pièces avariées démontre qu'on s'est trouvé en présence d'un agent destructeur très actif et pouvant amener, dans certaines circonstances, d'assez graves accidents.

Nous terminerons en exprimant l'avis que dans la construction des chaudières et des tuyauteries accessoires, l'on doit se tenir en garde contre des situations analogues à celles que nous venons de décrire, en évitant d'exposer les métaux à des variations importantes, subites, et fréquemment répétées de température et de pression.

NOTE

SUR

L'APPLICATION AU DESSÈCHEMENT DES MARAIS DE FOS

DES

POMPES CENTRIFUGES FARCOT A GRAND DÉBIT

PAR

M. L.-G. LOUISSE

Exposé.

Notre regretté Collègue, M. A.-Ch.-J. Dornès, décédé en septembre dernier, avait, en mai 1889, entretenu la Société des Ingénieurs civils de France des travaux entrepris par la Compagnie agricole de la Crau et des Marais de Fos, pour mettre en valeur la plaine de la Crau et dessécher les Marais de Fos.

La communication faite par M. Dornès contient l'exposé très complet de l'affaire, et mon intention n'est pas de reprendre à nouveau cet exposé. La question que je viens traiter devant vous est limitée aux essais et aux résultats obtenus par l'installation récemment achevée pour le dessèchement du bassin de Capeau, l'un des bassins entre lesquels se divisent les Marais de Fos.

Pour faciliter l'intelligence des développements que comporte ce sujet, je dois cependant rappeler sommairement les conditions générales dans lesquelles se trouvent les Marais, renvoyant au travail de M. Dornès ceux qui désireraient reprendre l'examen complet de l'entreprise.

Situation topographique des Marais de Fos.

Les Marais de Fos sont situés au sud et en prolongement de la plaine de la Crau. Ils s'étendent sur une vingtaine de kilomètres le long et sur la rive gauche du canal de navigation d'Arles à Bouc. Leur largeur, mesurée entre le canal et la Crau varie entre 2 et 3 *km*.

Ils se subdivisent en quatre bassins indépendants qui sont :

1° Le bassin de Fos	570 *ha*
2° Le bassin de Galéjon	370
3° Le bassin de Capeau	1 500
4° Le bassin de l'Etourneau	1 350
	3 800 *ha*

Les trois premiers bassins sont aujourd'hui complètement en état de dessèchement.

La configuration du sol aussi bien que son niveau par rapport à la mer ne permet pas l'écoulement naturel des eaux qu'il faut évacuer au moyen de machines, après les avoir captées dans un réseau de canaux.

Ces canaux se subdivisent en canal général en communication directe avec les machines, et situé au point le plus bas du bassin, en canaux secondaires tracés perpendiculairement au canal général, et en canaux tertiaires perpendiculaires aux secondaires.

Ces canaux découpent les bassins en carrés de 500 *m* de côté. Mais cette règle n'a pas été absolue, et on a profité chaque fois que cela a été possible, soit de canaux déjà existants, soit de dépressions bien marquées du terrain, pour placer les canaux.

La constitution d'un bassin comporte en outre l'établissement de digues et de canaux de ceinture, le protégeant contre l'envahissement des eaux extérieures.

Quant aux eaux intérieures dont le séjour provoque l'état marécageux du terrain, que les canaux recueillent et que les machines évacuent, elles ont deux origines ; les unes sont de provenance atmosphérique, les autres sont de provenance souterraine.

Les eaux d'origine atmosphérique sont, dans cette région, plutôt moins abondantes qu'ailleurs, mais elles se répartissent d'une façon plus irrégulière. Les pluies sont à certains moments très fortes, et elles submergeraient rapidement les terrains si les appareils d'épuisement n'étaient pas assez puissants.

Indépendamment des eaux pluviales, les marais reçoivent des eaux d'origine souterraine. Il existe, en effet, sous les marais, à une faible profondeur, une nappe d'eau qui s'écoule à la mer. Tandis que le niveau de la mer règle celui de cette nappe, les nécessités des cultures et du dessèchement obligent à maintenir dans les bassins le plan d'eau à un niveau inférieur.

Il en résulte que la nappe émerge dans les bassins partout où

elle trouve à s'échapper. Ces points sont plus ou moins nombreux suivant la nature plus ou moins tourbeuse du sol, reposant lui-même sur un sous-sol de poudingue plus ou moins fissuré.

Ces sources artésiennes, ou laurons, suivant la dénomination locale, sont quelquefois très importantes. Elles sont toujours assez nombreuses pour qu'il soit nécessaire de les épuiser d'une façon continue, tandis que les eaux pluviales sont au contraire discontinues.

Les épuisements se font normalement entre des hauteurs d'élévation variant entre 0,50 *m* et 1 *m*; exceptionnellement on descend à 1,50 *m*, quand la nécessité de mieux dessécher se fait sentir; c'est le cas principalement dans les saisons pluvieuses; exceptionnellement aussi on a une hauteur inférieure à 0,50 *m* quand on a eu des pluies très abondantes, et c'est alors qu'on a les plus grandes masses d'eau, qu'on doit les enlever le plus rapidement possible.

Les appareils d'épuisement devaient donc satisfaire aux conditions suivantes :

Ils devaient épuiser à des hauteurs variables, mais faibles, des quantités d'eaux variables, tout en conservant un bon rendement économique, puisque leur marche devait être continue.

Dans les différents bassins les conditions n'étaient pas identiques. En effet, pour les uns ce sont les eaux artésiennes, c'est-à-dire continues, qui constituent le principal élément des eaux à épuiser. Pour les autres, au contraire, de plus grande surface, ce sont les eaux pluviales, c'est-à-dire discontinues, qui sont les plus abondantes, et qui fournissent la grande masse d'eau à enlever en peu de temps.

Dessèchement des bassins de Fos et du Galéjon.

Pous ces deux bassins, on s'est trouvé dans le premier des deux cas ci-dessus indiqués. Les surfaces des bassins sont relativement faibles, tandis que les eaux artésiennes y sont abondantes; aussi au point de vue des eaux à épuiser, l'écart entre les périodes sèches et les périodes pluvieuses n'est pas très considérable, abstraction faite des eaux pluviales exceptionnelles.

Ce sont ces considérations qui, au moment des installations, ont fait adopter les pompes rotatives à axe horizontal de M. John et Henry Gwynne de Londres. Dans sa communication de mai 1889, M. Dornès vous a fait connaître les résultats obtenus aux essais auxquels ces pompes ont été soumises.

Je rappelle seulement que les essais ont montré que ces pompes possédaient pour les hauteurs d'élévation dont on avait besoin, une élasticité de débit suffisante, tout en conservant un bon rendement.

Au bassin de Fos, où la première installation avait été faite, on avait, en l'absence de toutes données précises, évalué à 1 000 ou 1 200 *l* à la seconde le volume à épuiser; deux pompes ayant chacune ce débit y avaient donc été installées, dont une de rechange. L'expérience a prouvé que ce débit correspondait aux eaux souterraines seules, aussi pendant les périodes pluvieuses, les deux pompes doivent-elles marcher simultanément, l'une d'une façon continue, l'autre quelques heures par jour. On manquait de rechange en cas d'avarie nécessitant l'arrêt prolongé d'une pompe, et il a fallu installer pour ce bassin une troisième pompe dont il sera parlé tout à l'heure.

Pour le bassin du Galéjon, dont la surface est moindre que celle du bassin de Fos, la Compagnie a également installé deux pompes du système Gwynne, mais, éclairée par l'expérience du bassin de Fos, elle leur a donné à chacune un débit de 12 à 1 500 *l* à la seconde. Dans ce bassin une seule pompe suffit dans tous les cas au dessèchement, la seconde servant de rechange.

Dessèchement du bassin de Capeau.

Au bassin de Capeau les conditions étaient toutes différentes de celles des deux premiers bassins.

Les eaux souterraines y sont relativement beaucoup moins abondantes. Au contraire, par suite de la grande étendue du bassin, les eaux pluviales présentent une masse énorme dont il faut pouvoir se débarrasser en peu de temps. Ce bassin comportait donc une installation différente.

C'est de cette installation et des résultats obtenus que je vous entretiendrai d'une manière spéciale.

Le plan complet du bassin est représenté *(Pl. 111, fig. 1 et 2)*. Ce plan indique les dispositions d'ensemble adoptées pour les canaux et les digues.

Les machines sont installées au point M, vers le milieu du canal général et à proximité de l'étang du Landre, dans lequel les eaux d'épuisement sont déversées.

Cet étang communique avec un autre étang, dit « du Galéjon

supérieur », d'où les eaux s'écoulent à la mer par le canal d'Arles à Bouc.

Ainsi que je le disais plus haut, la condition essentielle à laquelle les machines devaient satisfaire était une très grande élasticité de débit pour des hauteurs d'élévation variant de 0,50 *m* à 1,50 *m*.

On avait d'abord songé à installer des roues élévatoires. En effet, le débit des roues augmente rapidement avec leur immersion dans le bief d'aval, c'est-à-dire quand le niveau s'élève dans le bassin, et cette augmentation de débit s'obtient sans une diminution trop sensible du rendement. Le débit augmente également avec la vitesse de rotation.

Les roues élévatoires possèdent donc une grande élasticité de débit.

Mais on sait que ces appareils exigent une grande fixité dans le niveau du bief amont, et cette fixité ferait absolument défaut pour le bassin de Capeau. Le niveau de l'étang de Landre où les eaux se déversent est, en effet, susceptible de varier dans une grande proportion.

On avait pensé pouvoir remédier à ce grave inconvénient au moyen d'un vannage spécial formant seuil mobile de déversement. Mais, outre que ce système n'avait jamais été expérimenté, la manœuvre de ce vannage aurait nécessité l'intervention constante et intelligente du personnel chargé de la conduite des machines. C'était un inconvénient des plus sérieux.

Pendant qu'elle poursuivait l'étude de cette question, la Compagnie eut connaissance d'une installation faite par la maison Farcot, en Égypte, à l'usine élévatoire de Khatatbeh, sur laquelle M. Brüll vous a présenté ici-même un remarquable mémoire, inséré dans les comptes rendus de la Société en 1888.

Les appareils d'épuisement étudiés et installés à Khatatbeh, par la maison Farcot, consistent en pompes rotatives à axe vertical, et d'après les résultats constatés en Égypte, ils paraissaient avoir précisément la très grande élasticité de débit recherchée pour le bassin de Capeau, sans que la fixité du niveau du bief de refoulement fût indispensable au bon fonctionnement de l'appareil.

Aussi la Compagnie se mit-elle en rapport avec la maison Farcot.

Mais, avant de prendre une décision définitive pour l'installation de Capeau, la Compagnie profitant de la nécessité où elle était d'installer au bassin de Fos un appareil de rechange, a chargé la

maison Farcot de la fourniture d'une pompe centrifuge à axe vertical de son système.

Cette pompe, dans les conditions où elle était installée ne devait fonctionner qu'à titre de secours et exceptionnel. Elle était destinée à enlever de grandes masses d'eau à de faibles hauteurs.

Les essais auxquels elle a été soumise ont montré son bon fonctionnement et ont fait constater que le débit pouvait atteindre 2 500 litres à la seconde à la hauteur de 0,50 *m* d'élévation, avec un rendement de 45 0/0 entre le travail en eau montée et le travail indiqué sur les pistons.

Le débit s'est élevé à 3 800 litres à la seconde à 0,30 *m* de hauteur d'élévation avec un rendement moindre, mais encore satisfaisant.

Les résultats ainsi obtenus à Fos, dûment constatés, la Compagnie a demandé à la maison Farcot des propositions pour la fourniture d'appareils susceptibles d'assurer le dessèchement du bassin de Capeau.

La maison Farcot a alors proposé un projet complet comprenant la fourniture des chaudières machines et pompes, avec des garanties de débits et de consommation de charbon par cheval en eau montée, proposition d'ensemble offrant une plus grande sécurité au point de vue du résultat définitif que la fourniture de pompes, machines et chaudières, par des constructeurs différents avec des garanties correspondantes.

Projet définitif approuvé.

Toutes ces considérations, jointes à celle de confier une si importante commande à une maison française, décidèrent la Compagnie à adopter le projet de M. Farcot, et à le soumettre à l'Administration supérieure dont l'approbation a été donnée par une décision ministérielle.

Aux termes de ce projet, la maison Farcot avait à construire deux appareils élévatoires pouvant élever chacun 4 000 litres d'eau au maximum par seconde à la hauteur d'élévation de 0,50 *m*; 3 000 litres au maximum par seconde à la hauteur d'élévation de 1 *m*, et 2 500 litres au maximum par seconde à la hauteur d'élévation de 1,50 *m*.

Le délai de livraison entre la signature du marché et le jour où les deux appareils devaient être prêts aux essais définitifs a été fixé à 16 mois, temps très court car il comprenait la prépa-

ration des projets définitifs, le temps de l'exécution aux ateliers, le transport par voie d'eau et le montage à l'usine élévatoire dans un pays absolument dénué de ressources.

Ce délai a été strictement observé et les essais définitifs faits à la date prévue.

Nous donnons (*Pl.* *111*, fig. 3 à 11) le dessin complet de l'usine élévatoire et de ses abords. Ce dessin montre les dispositions de détail adoptées pour l'installation des deux appareils élévatoires composés chacun de :

1° Une pompe centrifuge type Farcot de son système breveté;

2° Un moteur à quatre tiroirs, type Farcot;

3° Un générateur semi-tubulaire.

Pompe centrifuge.

Les pompes centrifuges Farcot sont à arbre vertical, à pivot hors l'eau muni d'un graissage automatique spécial, et de clapets de retenue en bois rainé avec leurs sièges à charnière double.

Le choix de la pompe centrifuge à arbre vertical était tout indiqué, étant donné le volume énorme et variable qu'il s'agissait d'élever à une faible hauteur.

La position verticale de l'axe est motivée par la faible hauteur d'élévation par rapport au diamètre de la pompe; dans ces conditions, le rendement d'une pompe à axe vertical devient incontestablement supérieur à celui de la même pompe à axe horizontal.

La pompe horizontale adoptée a un diamètre extérieur du colimaçon égal à 5 *m*; le diamètre de l'œillard a l'aspiration est de 1,44 *m* et le diamètre du tuyau d'évacuation à sa sortie est de 2 *m*. Ce tuyau d'évacuation est prolongé par un canal maçonné dont la section continue à s'augmenter régulièrement jusqu'au clapet, lequel a 3 *m* de hauteur sur 2,50 *m* de largeur. Les deux canaux d'évacuation débouchent dans un grand bassin en communication directe avec l'étang de Landre par un canal de 16 *m* de largeur.

Pour l'explication des principes techniques et pratiques de la pompe centrifuge, type Farcot, je renvoie à l'analyse magistrale qu'en a faite M. Brüll dans les mémoires de notre Société, et aussi à la notice très complète publiée aux annales des ponts et chaussées en 1888, par M. Joseph Farcot.

Je rappellerai seulement que cette pompe se compose essentiellement : d'une roue turbine à plateaux paraboloïdes, entre lesquels

se contourne une ailette à surface hélicoïdale, dont les formes ont été définies à la suite d'expériences très complètes de M. Paul Farcot, expériences consacrées à l'étude de l'influence des formes et proportions des passages d'eau sur les phénomènes hydrauliques dans l'intérieur de la pompe; puis d'un corps de pompe spirale à sections croissantes formant aube directrice à la sortie de la turbine. *(Pl. 112 fig., 1, 2 et 3.)*

On peut remarquer combien les formes mêmes du puisard d'aspiration et de la conduite de refoulement sont grandes et étudiées pour éviter tout remous, toute perte de puissance vive des molécules qui doivent entrer dans la pompe presque sans vitesse pour en ressortir de même, après avoir acquis dans l'œil-lard une grande vitesse proportionnelle au débit.

Un certain nombre de perfectionnements brevetés ont été encore apportés par les constructeurs depuis les publications précitées.

Ils consistent :

1° Dans le mode d'équilibrage de la turbine;
2° Dans le mode de graissage du pivot;
3° Dans le mode de troussage du corps de pompe.

Je les examinerai successivement.

1° *Équilibrage de la turbine.* — La position verticale de l'axe peut, si l'on n'y prend garde, présenter certains inconvénients par suite de la charge considérable qu'il s'agit de porter à l'allure normale de la pompe, cette charge étant constituée essentiellement par l'effet de la gravitation sur les pièces formant l'équipage tournant, augmenté de l'effort de succion exercé sur les plateaux de la roue turbine pendant l'aspiration.

Le poids des pièces tournantes étant déterminé par des considérations de résistance, il ne reste, pour diminuer cette charge axiale, qu'à agir sur l'effort produit par la succion.

Les constructeurs ont pris, à cet effet, les dispositions suivantes :

Le plateau inférieur de la turbine et la capacité *d* qui l'entoure sont séparés de l'aspiration par une rainure circulaire *b* qui intercepte pratiquement toute communication entre les deux capacités, tandis que, du côté du refoulement, on a laissé une large fente circulaire *r* permettant l'accès dans ce compartiment de la pression de refoulement. Des dispositions analogues, mais inverses, ont été prises du côté du plateau supérieur; la capacité *a* qui l'entoure communique librement avec la pression d'aspiration par

une série de trous *c*, et est au contraire interceptée du côté du refoulement par une rainure circulaire *e*.

L'expérience a démontré que les rainures d'emboîtement circulaires telles qu'elles sont employées par M. Farcot constituent de véritables garnitures sans entretien et dont la perte est pratiquement nulle.

Il résulte de ces dispositions que le compartiment *d* sera sous la pression du refoulement, tandis que le compartiment *a* sera sous la pression d'aspiration et que l'effort résultant des différences de ces deux pressions, sera dirigé dans le sens contraire à la gravitation équilibrant une partie des pièces tournantes.

Cette solution permet de réduire les frottements mécaniques au minimum.

Dans l'application qui vient d'être faite pour les marais de Fos, ces principes de l'équilibrage ont été vérifiés en tous points, et ont contribué pour une bonne part à l'excellente marche qui s'est maintenue depuis le premier tour sans fatigue apparente du pivot.

On peut encore attirer l'attention sur le mode de commande de l'arbre vertical. L'arbre horizontal du volant se prolonge directement au-dessus du puisard, et, par un engrenage en fonte sur fonte, communique le mouvement à l'arbre vertical.

Le boitard supérieur de l'arbre vertical et le palier d'extrémité de l'arbre du volant qui doivent absorber les vibrations des engrenages, sont ici fixés sur des poutres en fonte, relativement légères, de 6 *m* de portée, réunies par de fortes entretoises scellées dans les murs. Il était à craindre que cette disposition ne laissât naître dans les poutres des vibrations qui eussent pu devenir intolérables pour la marche; on a pu constater, au contraire, que là encore les prévisions du constructeur ont été rigoureusement conformes à la réalité, car les vibrations produites sont absolument insignifiantes.

2° *Graissage du pivot.* — Le pivot hors l'eau, type Farcot *(pl. 112, fig. 4)*, se compose de deux grains fixes en bronze phosphoreux entre lesquels est interposé, libre en rotation, un grain en acier trempé.

Une forte bague en acier assure aux grains leur centrage et leur stabilité; puis une cuvette annulaire, fixe dans l'espace, vient les entourer, leur assurant en tout temps un bain d'huile. Mais comme surcroît de précaution et pour éviter absolument tout échauffement, on a établi une circulation continuelle d'huile, au moyen

d'une pompe rotative, refoulant dans un réservoir réfrigérant immobile dans l'espace, placé à la portée du mécanicien et formant décanteur.

En sortant de ce décanteur, l'huile retombe par gravitation au centre de l'arbre creux en fonte où elle est amenée par un tuyau muni d'un robinet pointeau, permettant de régler suivant les besoins du service le volume d'huile, et évitant le fonctionnement intermittent qui s'établirait sans cette précaution.

L'huile traverse les grains dans un système de larges pattes d'araignée, puis vient déborder en champignon sur la lèvre du réservoir entourant les grains.

Elle est ensuite recueillie par une capacité annulaire tournante, puis après une nouvelle chute dans une gorge annulaire venue de fonte à l'intérieur de l'arbre, elle est rejetée dans un grand réservoir annulaire abrité d'un couvercle tournant avec l'arbre.

C'est dans ce réservoir qu'elle est prise par la pompe rotative d'où elle recommencera sa circulation.

La capacité du réservoir inférieur est déterminée de telle sorte que l'huile, contenue dans le décanteur et dans les conduites, puisse revenir dans le réservoir annulaire, sans, en aucune circonstance, entraîner de perte par débordement.

La quantité d'huile circulant à travers le pivot peut être évaluée à deux ou trois litres par minute.

On doit ajouter, comme le meilleur éloge de ces dispositions, que l'huile n'a jamais pris aucune température appréciable à la main, et qu'à l'arrêt les grains étaient toujours froids comme s'ils n'eussent pas travaillé, bien que le poids des organes tournants soit de 10 000 *kg* environ.

3° *Mode de troussage du corps de pompe.* — Le mode de troussage employé antérieurement, et qui consistait dans l'emploi comme génératrice du moule d'une lame élastique en acier à encastrement fixe et de longueur variable, présentait encore un certain manque de précision dans la génération de la surface extrêmement compliquée qu'il s'agit d'engendrer. (Voir les détails dans le mémoire de M. Brüll.)

Cet inconvénient, qui était la conséquence de l'intervention d'organes flexibles et élastiques, a été complètement évité dans le procédé en usage aujourd'hui chez ces constructeurs.

Ce procédé est basé sur l'emploi d'un certain nombre de trousseaux successifs, ayant des axes excentrés et inclinés suivant

l'accentuation plus ou moins grande de la spirale, et raccordant leurs formes tangentielles *(pl. 112, fig. 5 à 8)*.

De l'axe A de la pompe comme centre et avec un trousseau dont le profil est représenté en *a*, on commence par trousser l'évidement cylindrique formant l'œillard.

Avec un axe excentrique et incliné B, et un trousseau d'un profil *b*, on trousse le demi-corps de pompe GFE. Ce demi-corps de pompe exécuté, on place un trousseau d'un même profil que le précédent sur un axe incliné C, on continue la spirale du corps de pompe jusqu'en O. Comme la partie voisine du point O produirait une forme ogivale par suite de l'intersection de la dernière portion du garabit *b* avec le plan médian, on rectifie cette forme ogivale en se servant d'un gabarit *e* placé verticalement suivant l'axe D.

La tubulure de refoulement ou buse qui part de l'axe G et termine le corps de pompe est troussée suivant les procédés habituels au moyen de règles et de guides.

La partie supérieure du moule est troussée de la même façon; mais les différents axes sont placés dans des positions symétriques par rapport à l'axe KL et au plan médian horizontal.

Ce mode de troussage permet, grâce à l'invariabilité de l'outil générateur, de produire la forme du colimaçon d'une façon mathématiquement conforme aux prévisions de l'ingénieur, et ce, en évitant les précautions spéciales qu'exigeait le système employé précédemment. On détermine, en effet, les dimensions exactes que l'on veut donner en certains points du corps de pompe, et par ce troussage, on passe de l'une à l'autre par une gradation absolument insensible, permettant aux filets liquides de conserver absolument leurs directions respectives, sans aucun choc, par simple déperdition de leur vitesse initiale à l'œillard.

Clapet de retenue.

Les pompes sont placées au-dessous du niveau d'aspiration le plus bas. Grâce à cette disposition, il n'y a besoin d'aucun moyen d'amorçage, mais il faut éviter le retour des eaux refoulées pendant les arrêts du moteur.

Ce retour est empêché par un clapet de retenue dont on a donné plus haut les grandes dimensions. Il est muni à sa partie supérieure d'une charnière à double articulation.

Cette disposition de la double articulation a pour but de donner

au clapet plus de flexibilité pour le cas où un corps étranger viendrait au moment de sa fermeture s'interposer entre lui et le siège dans le voisinage de l'articulation, auquel cas une simple charnière serait exposée à la rupture.

L'étanchéité de ce clapet a été éprouvée lors de sa mise en service. On a relevé comme valeur de la fuite environ 1/500e du volume normal fourni par la pompe, alors qu'on n'avait qu'une portée de bois sur bois. On y a ajouté une tresse de chanvre pour avoir l'étanchéité encore plus parfaite.

Moteurs.

Les pompes dont on a indiqué les principaux perfectionnements pour l'installation dont il s'agit, sont actionnées par deux moteurs du type Farcot à quatre distributeurs.

Ces moteurs sont trop connus pour qu'il soit nécessaire de s'étendre ici sur les principes de leur fonctionnement, il suffit de rappeler les caractéristiques de leurs avantages qui sont :

Une grande économie de vapeur;

Une grande élasticité de puissance;

Parfaite sécurité du fonctionnement et grande facilité de la conduite assurant une marche ininterrompue.

Ces résultats sont dus, on le sait, au système de distribution qui engendre dans un cylindre à espace nuisible minimum des diagrammes sensiblement identiques aux diagrammes théoriques, et qui permet de varier les périodes d'admission entre 0 et 8/10 de la course du piston. Enfin la construction robuste des organes, et les précautions prises pour éviter tout accident et tout dérangement dans le réglage de la distribution, font de cette machine un moteur éminemment pratique, alors même qu'il est appelé à être confié à des hommes sans aptitudes spéciales, et dans des pays éloignés des ressources de l'industrie.

C'est grâce à ces précautions, à la conduite si facile de ces machines, qu'on a pu, en fait, confier la conduite d'appareils aussi importants à un seul homme, mécanicien et chauffeur tout à la fois, qui suffit aisément à tout le service d'une marche journalière de 12 heures.

Pour ce qui concerce les machines élévatoires de Capeau, elles ont été soumises à une série d'expériences contradictoires pendant lesquelles on a relevé avec la plus grande rigueur les diverses données pouvant intéresser le fonctionnement, et dont les résul-

tats sont indiqués au tableau général des essais dont il sera parlé ultérieurement.

La puissance normale des moteurs est de 60 *ch* chacun, puissance qui peut être, en bonnes conditions de marche, poussée jusqu'à 150 *ch*.

Générateurs.

La vapeur est fournie par deux générateurs du type semi-tubulaire de 70 m^2 de surface de chauffe chacun, timbrés à 6,500 *kg*.

Chacun de ces générateurs a deux bouilleurs en dessous, et un corps tubulaire avec tubes amovibles.

Après une circulation des gaz autour des bouilleurs, ils retournent par le corps tubulaire, puis se rendent ensuite vers la cheminée par des canaux latéraux du corps tubulaire.

Les avantages de ce genre de chaudières résident dans les grandes réserves d'eau et de vapeur qui sont la condition d'une conduite et d'un entretien des plus simples et d'une grande sécurité.

Les conditions de vaporisation sont également satisfaisantes, en ce sens que leur rendement reste bon dans de larges limites de production par mètre carré de surface de chauffe.

Conditions de fonctionnement et garanties.

Les conditions du fonctionnement des appareils et les garanties imposées au constructeur sont indiquées dans le tableau ci-après :

Désignation.	Pour une élévation de		
	H = 0,50 *m*	H = 1,00 *m*	H = 1,50 *m*
Débit garanti par seconde. . . .	3 000 *l*	2 500 *l*	2 000 *l*
Charbon consommé par cheval en eau montée et par heure	2,500 *kg*	2,200 *kg*	2 *kg*

Il avait été aussi spécifié que les débits pourraient être poussés au delà des chiffres ci-dessus indiqués en faisant appel à l'élasticité de la puissance des machines, et le constructeur a garanti que ces débits atteindraient les chiffres indiqués par le tableau ci-après :

Désignation.	Pour une élévation de		
	H = 0,50 *m*	H = 1 *m*	H = 1,50 *m*
Débits maximum garantis par seconde.	4 000 *l*	3 000 *l*	2 500

Ces débits devant être atteints, sans entraîner une augmentation de consommation de charbon par cheval en eau montée de plus de 25 0/0 sur les consommations garanties en marche normale.

Le cahier des charges qui a été joint à cette entreprise prévoyait, en outre, que si les quantités de charbon par cheval en eau montée et par heure, dans les conditions précitées, dépassait le maximum garanti, il serait opéré sur le prix de la fourniture une retenue de 1 000 *f* par hectogramme de charbon consommé en plus de ce maximum, la Compagnie pouvant refuser l'appareil si la quantité de charbon en eau montée et par heure dépassait de 25 0/0 le maximum garanti.

Essais définitifs.

Pour vérifier toutes les conditions imposées au constructeur, des essais définitifs contradictoires ont eu lieu les 31 octobre, 1er, 2, 3 et 4 novembre dernier, sous la direction du signataire de la présente communication, représentant la Compagnie agricole de la Crau et des Marais de Fos, et M. Ambroise Farcot, l'un des ingénieurs de la maison Farcot.

Ces essais ont consisté en vérification des débits prévus et des consommations garanties pour les hauteurs d'élévation de 0,50 *m*, 1 *m* et 1,50 *m*, et en vérification des débits maximums et consommations garanties pour les mêmes différences de hauteurs.

1° *Débits.* — Pour la vérification des débits, on a construit un déversoir du type Boileau en adoptant exactement une des hauteurs de barrages expérimentés par cet ingénieur. *(Pl. 112, fig. 10 à 16.)*

Ce déversoir de 0,406 *m* de hauteur est établi dans un couloir en bois parfaitement calibré et formé de planches de 0,027 *m* d'épaisseur, rainées et bouvetées.

Ce couloir de 4 *m* de largeur et de 14 *m* de longueur était porté par huit cadres (un tous les 2 *m*) formés d'une traverse inférieure de 6 *m* de longueur et de 0,10/0,10 *m*, de deux montants perpendiculaires de même équarrissage et de jambes de force, le tout solidement boulonné. Le revêtement cloué sur ces montants, sur une hauteur de 1,10 *m*, rendait le couloir absolument indéformable.

Le déversoir proprement dit, de 0,406 *m* de hauteur, occupait toute la largeur du couloir, et était formé d'une pièce de chêne assemblée avec les côtés et le fond du couloir, et avec glacis tourné vers l'aval à la partie supérieure ; pour former l'arête du

déversoir, on avait vissé sur ce glacis une lame de fer taillée en biseau.

Exactement au-dessus de cette arête, l'un des cadres dont les montants étaient prolongés portait un fort madrier sur lequel, et en son milieu, se mouvait une longue tige taraudée dont la pointe affleurait l'arête du barrage et restait toujours dans le plan vertical passant par cette arête ; elle portait un index se mouvant sur une échelle graduée, ce qui permettait, en faisant affleurer la pointe sur la nappe liquide, de mesurer avec toute exactitude l'épaisseur e de cette nappe au-dessus du déversoir.

Une seconde pointe avec index se mouvant sur une autre échelle graduée, manœuvrée de même par une longue tige taraudée, était placée à 2,80 *m* en amont du déversoir, et parfaitement repérée avec son arête. Elle permettait de mesurer exactement la charge H produisant l'écoulement.

On sait que c'est à 2,80 *m* en amont du déversoir que Boileau, et d'autres expérimentateurs ont toujours fixé le point où la surface liquide commence à s'infléchir sous l'influence du déversoir.

Les côtés du couloir à l'amont n'étaient pas verticaux sur les quatre premiers mètres, mais formaient un vaste entonnoir donnant aux éléments liquides leur première direction.

La grande longueur du couloir avait pour but d'obtenir le parfait parallélisme des filets liquides, avant leur arrivée aux sections de mesure dont nous avons parlé plus haut.

Boileau, après avoir exposé toute la théorie de l'écoulement par-dessus les barrages déversoirs dans son *Traité de la mesure des Eaux courantes*, a donné pour les débits la formule :

$$Q = \frac{\sqrt{1 - K}}{\sqrt{1 - \left(\frac{1}{1 + \frac{s}{H}}\right)^2}} LH \sqrt{2gH}, \qquad (1)$$

dans laquelle L = largeur du déversoir,

H = charge d'écoulement,

K = rapport $\frac{e}{H}$,

e = épaisseur des lames d'eau sur la crête du déversoir,

s = la hauteur de la crête du déversoir au-dessus du bief d'amont.

Mais, en opérant expérimentalement, et en mesurant les débits, il a ramené cette formule à l'expression :

$$Q = m\text{LH}\sqrt{2g\text{H}},$$

lui permettant en connaissant H et Q de déterminer *m*.

Boileau déterminait H par l'emploi d'un tube placé immédiatement en amont du barrage, procédé qui est peut-être plus exact que l'emploi de la tige filetée et qu'il a longuement défini dans son ouvrage.

Comme il mesurait les volumes et ne se servait pas alors de la valeur de *e*, il était inutile d'employer le procédé de la tige filetée.

Mais en se servant de la formule théorique qui exige à la fois la mesure des valeurs de H et de *e*, on a cru devoir employer deux procédés identiques qui soient au même instant soumis aux mêmes influences, lesquelles sont alors sans action sur le rapport $K = \frac{e}{H}$.

Pour simplifier la comparaison numérique des résultats théoriques avec les résultats de l'expérience, Boileau a ramené cette formule théorique n° 1 à l'expression :

$$Q = \alpha\text{LH}\sqrt{2g\text{H}}, \qquad (2)$$

dans laquelle
$$\alpha = \frac{\sqrt{1-K}}{\sqrt{1-\left(\dfrac{1}{1+\dfrac{s}{H}}\right)^2}}.$$

C'est ainsi que dans les différents tableaux d'expérience publiés par cet auteur on trouve, d'une part, le débit expérimental, et la valeur correspondante calculée du coefficient *m*, et d'autre part, le débit calculé d'après la valeur du coefficient α déduite de la connaissance des éléments L, H et *e*.

De cette façon, Boileau a mis en regard le degré d'approximation de la formule théorique proposée par lui et des résultats des mesures directes.

On a pris le tableau de l'ouvrage de Boileau correspondant au déversoir de 0,406 *m* de hauteur adopté, et on a tracé par rapport aux valeurs de *e* les deux courbes de débits données par cet auteur, débit résultant du coefficient théorique, débit résultant des mesures directes *(pl. 112, fig. 9)*.

On a ensuite calculé les débits obtenus dans les expériences,

en employant la formule (2) et en substituant dans cette formule les valeurs moyennes de H et de *e* obtenues aux essais. On a tracé la courbe des débits ainsi calculés (trait pointillé allongé).

On remarque que les trois courbes se coupent sensiblement au même point et que la courbe (trait pointillé allongé) des débits des expériences reste très rapprochée des courbes tracées d'après les tableaux de Boileau tant que les épaisseurs de *e* ne sont pas trop grandes, mais s'en écarte d'autant plus que la valeur de *e* augmente.

En recherchant les causes de cette anomalie, on trouve que pour des valeurs de *e* faibles, les différences de H et de *e* sont sensiblement égales à celles données par les expériences de Boileau, mais que lorsque *e* augmente, ces différences sont sensiblement moindres ; aussi, lorsque cette différence H—*e* diminue, le débit théorique calculé dans les essais actuels diminue sur le débit théorique calculé par Boileau.

Mais les expériences de Boileau n'ont jamais porté que sur des déversoirs à largeurs relativement étroites, tandis qu'on opérait sur un canal de *4 m* de largeur ; on doit donc en conclure que, contrairement à ce que croyait cet ingénieur, la largeur du couloir a une certaine influence.

Dans le cas de grande largeur les parois ont moins d'influence, la chute se fait sous une charge moindre, aussi la vitesse est moindre et le débit également moindre.

La courbe théorique (trait pointillé allongé) tracée au moyen de nos mesures de H et de *e*, dans des couloirs larges, se rapproche davantage de la courbe expérimentale de Boileau, que de sa courbe théorique provenant des mesures de H et de *e* dans des couloirs étroits. Il faudra donc dans des expériences de ce genre adopter autant que possible des couloirs larges.

Comme conclusion on a dans les calculs et dans les différents cas des essais, pris la moyenne des débits mesurés sur la courbe trait pointillé et sur la courbe trait pointillé allongé, c'est-à-dire :

1° Sur la courbe des débits expérimentaux de Boileau ;

2° Sur la courbe des débits calculés avec les relevés H et *e* moyenne des essais.

Enfin la mesure aussi exacte que possible des débits étant notre principale préoccupation, et ayant remarqué que la section du couloir d'expérience dans laquelle on mesurait H était absolument régulière, et les fibres d'écoulement sensiblement parallèles et animées de vitesses proportionnelles et constantes, nous avons

encore calculé les débits au moyen d'un moulinet Baumgarten en opérant comme suit.

Des expériences spéciales ont été faites avant l'emploi du moulinet pour le tarer, elles ont permis de déterminer la loi des vitesses en fonction du nombre de tours du moulinet.

Cette loi est représentée par une ligne droite et par la formule :

$$V = n \times 0{,}115 + 0{,}085$$

dans laquelle V représente la vitesse de l'eau en mètres par seconde, et n le nombre de tours par seconde.

La constante de 0,085 représente la vitesse de l'eau nécessaire pour vaincre les frottements de l'appareil.

Le nombre de tours ayant été mesuré à la minute, cette formule devient :

$$V = n' \times 0{,}00192 + 0{,}085.$$

La section dans laquelle les débits devaient être mesurés a été divisée en dix sections égales.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

On a relevé au centre de chacune d'elles et à trois reprises le nombre de tours du moulinet Baumgarten.

On a calculé le volume débité par chacune de ces dix sections et leur somme a donné le volume total débité par le couloir.

Mais comme en pratique il eût été impossible de relever les vitesses de chacune des parties de la section ainsi subdivisée, les expérimentateurs ont convenu de mesurer toujours la vitesse de l'une d'elles, le nº 3, en lui appliquant le coefficient déterminé par l'expérience et qui a été trouvé égal à 0,955.

La vérification du débit était la question la plus difficile à résoudre, et la possibilité de l'obtenir par trois procédés différents. permet, en prenant la moyenne de ces trois procédés, d'avoir une approximation qui n'a peut-être jamais été atteinte jusqu'à ce jour dans des expériences de cette nature.

C'est cette moyenne qui a été adoptée dans les calculs, à moins que des faits spéciaux, qui sont relatés dans chacun des dossiers d'essais, aient obligé à ne pas tenir compte de l'une quelconque des observations, ce qui est arrivé notamment pour les essais à

grand débit, dans lesquels l'entraînement de petites herbes a faussé les résultats donnés par le moulinet.

On peut voir, d'ailleurs, par l'examen des résultats, combien tous ces procédés ont donné des chiffres remarquablement concordants, puisque dans les expériences de huit heures de durée, la plus grande différence constatée entre les différents chiffres n'a pas atteint 1/30e.

2° *Différence des niveaux d'aspiration et de refoulement.* — Les hauteurs d'eau ont été constatées à l'aspiration et au refoulement au moyen de flotteurs en zinc, placés dans de gros cylindres en zinc percés de trous, pour être influencés aussi peu que possible par les mouvements de l'eau.

Ces flotteurs surmontés chacun d'une longue tige munie d'un index se mouvant le long d'une échelle graduée, permettaient de connaître à chaque instant la différence des niveaux d'amont et d'aval, c'est-à-dire la hauteur d'aspiration, les deux échelles ayant été préalablement vérifiées avec le plus grand soin pour que leurs zéros se rapportassent à un même plan de comparaison.

Pour obtenir, pendant les périodes d'essais, une différence de niveau aussi constante que possible, les deux bassins d'aspiration et de refoulement étaient reliés par un canal qui avait 80 *m* environ de longueur, et au milieu duquel se trouvait le déversoir.

Comme ces deux bassins étaient tous deux complètement fermés, c'était le même volume d'eau qui faisait constamment le circuit entre l'amont et l'aval.

Mais comme on avait remarqué que dans le bassin d'aspiration, par suite de la baisse du plan d'eau au-dessous du niveau des eaux des marais environnants, il y avait des rentrées d'eau extérieure par suite de filtration à travers les terres, on a dû installer une pompe spéciale chargée de tenir sans cesse la régularité des eaux à l'aspiration.

On est arrivé ainsi à obtenir des différences de niveau des eaux d'amont et d'aval sensiblement invariables.

3° *Observations diverses.* — On a relevé en même temps, c'est-à-dire de quart d'heure en quart d'heure :

1° Des diagrammes avant et arrière du cylindre du moteur au moyen d'indicateurs Martin;

2° La pression à la chaudière;

3° Le vide au condenseur;

4° Le nombre de tours de la machine au moyen d'un compteur de tours.

On a mesuré également le volume d'eau introduit dans la chaudière, en mesurant l'eau de chaque alimentation, au moyen d'une grande bâche pourvue d'une échelle graduée à l'avance.

La consommation de charbon a été constatée par des pesées régulières du charbon de Cardiff employé.

Tous les résultats des observations que nous venons de définir sont enregistrés sur des tableaux formant six dossiers complets, un par essai.

Les six essais ont été les suivants :

1° Le 31 octobre : essai de une heure et quart de durée à grand débit pour une différence de niveau de 1,50 *m*.

2° Le 1er novembre : essai de huit heures de durée à débit normal de 2 000 *l* par seconde pour une différence de niveau de 1,50 *m*.

3° Le 2 novembre : essai de huit heures de durée à débit normal de 2 500 *l* à la seconde pour une différence de niveau de 1 *m*.

4° Le 2 novembre : essai de une heure et quart de durée à grand débit pour une différence de niveau de 1 *m*.

5° Le 3 novembre : essai de huit heures de durée à débit normal de 3 000 *l* à la seconde pour une différence de niveau de 0,50 *m*.

6° Le 4 novembre : essai de quatre heures de durée à grand débit pour une différence de niveau de 0,50 *m*.

Ces six dossiers comprennent chacun cinq pièces :

A. — Tableau donnant, d'après les relevés des diagrammes, la moyenne des pressions avant et arrière du cylindre, chaque quart d'heure.

B. — Tableau donnant le vide au condenseur, la pression à la chaudière, le nombre de tours à la machine chaque quart d'heure.

C. — Tableau donnant les cotes des niveaux des biefs d'aspiration et de refoulement chaque quart d'heure, et le volume d'eau d'alimentation, le charbon consommé pendant la durée de l'essai.

D. — Tableau donnant les relevés de H et de *e* du déversoir Boileau chaque quart d'heure, et d'après ces éléments le débit lu sur la courbe des débits tracée au moyen de coefficients d'expérience Boileau et le débit lu sur la courbe tracée au moyen des coefficients théoriques α pour les moyennes de chaque essai.

Ce tableau contient aussi tous les éléments relevés pour l'emploi du moulinet Baumgarten et les débits correspondants.

E. — Les calculs nécessaires pour déterminer :

1° La quantité de vapeur produite par kilogramme de charbon consommé;

2° La consommation de charbon à l'heure par décimètre carré de surface de grille;

3° La vaporisation par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière;

4° Le débit moyen à adopter;

5° Le travail moyen indiqué sur les deux faces du piston;

6° Le travail effectif en eau montée;

7° Le rapport du travail effectif en eau montée au travail indiqué ou rendement de l'appareil élévatoire;

8° Le rendement de la pompe seule;

9° La consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure;

10° La consommation de vapeur par cheval effectif en eau montée et par heure;

11° La consommation de charbon par cheval indiqué et par heure;

12° La consommation de charbon par cheval effectif en eau montée et par heure.

Les six dossiers complets des essais nous paraissent inutiles à publier en entier, nous donnons seulement à titre d'exemple à la fin de la présente note, l'un de ces dossiers, le n° 3, de l'essai à débit normal de 2 500 *l* à la seconde pour la différence de niveau de 1 *m*(pages 751 à 759).

De plus, tous les résultats des six essais sont condensés dans le tableau récapitulatif (pages 760 et 761) :

Si on examine avec quelques détails les chiffres de ce tableau, on voit que le rendement de la pompe seule, c'est-à-dire le rapport entre le travail transmis à l'arbre de la pompe et le travail en eau montée a été pour les expériences normales de huit heures de durée à **1,50** *m*, **1** *m* et **0,50** *m* de hauteur d'élévation respectivement de **0,572**, **0,656**, **0,708**.

On demandait un appareil ayant le rendement le plus satisfaisant pour la plus faible hauteur d'élévation, le cas le plus fréquent à prévoir, et le rendement pour la hauteur d'élévation de 0,50 *m* est bien le plus satisfaisant et atteint un chiffre supérieur à tous ceux connus jusqu'à ce jour dans ces conditions.

Le problème se trouve donc parfaitement résolu sur ce point.

En ce qui concerne la consommation de charbon garantie par

cheval en eau montée et par heure, le résultat est remarquable, car pour les expériences à débit normal à 1,50 *m*, 1 *m* et 0,50 *m* de hauteur d'élévation, elle est respectivement de **1,962** *kg*, **1,86** *kg* et **1,95** *kg* au lieu de **2** *kg*, **2,200** *kg* et **2,500** *kg* prévus, c'est-à-dire correspond à une économie qui, dans les hauteurs expérimentées, devient de plus en plus importante avec la diminution de hauteur d'élévation.

Il est remarquable que cette consommation soit à peu près régulière pour toutes les hauteurs d'élévation prévues.

La consommation de charbon garantie par cheval et par heure pour les essais à grand débit n'a pas non plus été atteinte, mais l'économie est d'autant plus grande que la hauteur d'élévation est moindre, comme dans les essais à débit normal.

On remarquera notamment qu'on a fait l'essai à 0,50 *m* d'élévation avec un débit de 5 000 *l* à la seconde, au lieu de 4 000 *l*, maximum prévu et qu'on a encore un chiffre de consommation très inférieur à la garantie prévue pour 4 000 *l*.

Mais on doit particulièrement insister sur les débits maximums prévus.

A 1,50 *m* de hauteur d'élévation, on avait prévu 2 500 *l* de débit maximum, et l'essai a été fait à 3 000 *l* avec la plus grande facilité.

Après l'essai on a donné un peu plus de vitesse à la pompe et aussitôt le volume élevé a été porté à 4 000 *l* environ à la seconde.

A 1 *m* de hauteur d'élévation, on a fait l'essai au débit maximum prévu de 3 000 *l* à la seconde, mais aussitôt après l'essai en augmentant la vitesse, on a débité facilement environ 5 000 *l* à la seconde.

Ces deux essais complémentaires à plus grande vitesse n'ont pas eu de durée parce qu'on était tout à fait en dehors des chiffres à vérifier; ils avaient simplement pour but de connaître le débit maximum qu'on pourrait demander aux appareils, le cas échéant.

Enfin, à 0,50 *m* de hauteur d'élévation, on a fait l'essai à 5 000 *l* de débit au lieu des 4 000 *l*, maximum prévu. Mais lorsque, après l'essai, on a donné de la vitesse à la pompe pour connaître le maximum de débit, celui-ci a été si considérable que toute la surface de terrain protégée par des bâtardeaux a été immédiatement submergée; ceux-ci sont devenus insuffisants, à ce point qu'on a dû donner de suite un ordre d'arrêt au mécanicien.

Le déversoir pouvait cependant débiter environ 6 000 *l* à la seconde, mais comme non seulement il a été de suite insuffisant, mais que l'eau a monté excessivement vite jusqu'au déversement

par-dessus les bâtardeaux dont partie a été immédiatement entraînée, on peut dire, sans exagération, que le débit a dû atteindre 7 à 8 000 *l*.

On peut regretter que les dispositions prises pour les essais n'aient pas permis de mesurer avec exactitude ce débit considérable, mais comme on avait demandé 4 000 *l* de débit maximum, qu'on pouvait mesurer environ 6 000 *l*, on avait cru se tenir dans de très larges limites pour la mesure des débits quelconques que la pompe devait pouvoir fournir.

Le problème des épuisements à faible hauteur, avec des débits variables dans une mesure extrêmement étendue, et avec des rendements encore satisfaisants à très faible hauteur d'élévation, problème qui paraissait jusqu'à ce jour devoir être résolu difficilement par l'emploi de pompes centrifuges, a maintenant reçu une solution extrêmement complète par l'application de la pompe Farcot à axe vertical.

J'ai cru intéressant de faire connaître ce très beau résultat à la Société des Ingénieurs Civils de France, car c'est un véritable succès pour l'industrie française.

Il fait le plus grand honneur à M. Paul Farcot, Ingénieur en chef de la maison Farcot, qui a conçu, étudié et exécuté ce projet dans son ensemble et dans ses détails, ainsi qu'à son collaborateur, M. Schild, l'un des Ingénieurs de cette maison.

TYPE D'UN DOSSIER

RELATANT LES ESSAIS DÉFINITIFS

Dossier n° 3

DOSSIER N° 3

joint à la notice descriptive sur les essais définitifs

Résumé des observations de l'essai n° 3 du 2 novembre 1893, à 1 m de différence de niveau et à 2 500 l de débit.

BORDEREAU DES PIÈCES

PIÈCES du DOSSIER	DÉSIGNATION DES PIÈCES
A	Tableau donnant, d'après le relevé des diagrammes, la moyenne des pressions, avant et arrière du piston.
B	Tableau donnant la pression à la chaudière, le vide au condenseur et le nombre de tours de la machine.
C	Tableau donnant les hauteurs des eaux d'aspiration et de refoulement, le volume d'eau d'alimentation introduit à la chaudière, la consommation de charbon.
D	Tableau donnant le débit du déversoir : 1° Au moyen de la courbe des débits tracée d'après les coefficients d'expériences de Boileau; 2° Au moyen de la courbe des débits tracée d'après les coefficients théoriques α de Boileau calculés d'après les valeurs H et e des essais. 3° Par l'emploi du Moulinet Baumgarten.
E	Calculs nécessaires pour déterminer : 1° La quantité de vapeur produite par kilogramme de charbon employé; 2° La consommation de charbon à l'heure par décimètre carré de grille; 3° La vaporisation par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière; 4° Le débit à adopter; 5° Le travail indiqué sur le piston; 6° Le travail effectif en eau montée; 7° Le rapport du travail effectif au travail indiqué, ou rendement de l'appareil élévatoire. 8° Le rendement de la pompe seule; 9° La consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure; 10° La consommation de vapeur par cheval en eau montée et par heure; 11° La consommation de charbon par cheval indiqué et par heure; 12° La consommation de charbon par cheval en eau montée et par heure.

DOSSIER TYPE — PIÈCE N° 1

Essai n° 3 du 2 novembre 1893.

A. — Tableau donnant d'après les relevés des diagrammes la moyenne des pressions avant et arrière du cylindre.

NUMÉROS DES ESSAIS	HEURE des OBSERVATIONS	PRESSIONS SUR LES DEUX FACES DU PISTON AVANT	ARRIÈRE	OBSERVATIONS
1	8 00	2,055	2,397	
2	8 15	1,880	1,969	
3	8 30	1,982	2,247	
4	8 45	1,904	1,934	
5	9 00	1,906	2,211	
6	9 15	1,777	2,218	
7	9 30	1,817	2,063	
8	9 45	1,865	2,104	
9	10 00	1,805	2,061	
10	10 15	1,830	2,068	
11	10 30	1,951	2,021	
12	10 45	1,917	2,031	
13	11 00	1,941	2,161	
14	11 15	2,150	2,239	
15	11 30	1,893	2,000	
16	11 45	2,217	2,360	
17	12 00	2,096	2,250	
18	12 15	2,112	2,322	
19	12 30	2,137	2,388	
20	12 45	1,975	2,061	
21	1 00	1,964	2,065	
22	1 15	2,035	2,121	
23	1 30	1,958	2,149	
24	1 45	1,995	2,004	
25	2 00	1,966	2,054	
26	2 15	1,987	2,073	
27	2 30	2,048	2,047	
28	2 45	1,969	2,066	
29	3 00	1,723	2,009	
30	3 15	1,933	2,089	
31	3 30	1,912	2,101	
32	3 45	1,757	1,909	
33	4 00	2,149	2,313	
		64,606	70,105	

D'où pression moyenne :

Avant $= \frac{64,606}{33} = 1,958$ Arrière $= \frac{70,105}{33} = 2,124.$

DOSSIER TYPE — PIÈCE N° 2

Essai n° 3 du 2 novembre 1893.

B. — Tableau donnant le vide au condenseur, la pression à la chaudière, et le nombre de tours de la machine.

NUMÉROS DES ESSAIS	HEURE des OBSERVATIONS	DEGRÉ DE VIDE au CONDENSEUR	PRESSION effectuée dans la CHAUDIÈRE	NOMBRE DE TOURS sur le compteur	moyen par minute	à la minute au moment des diagrammes	OBSERVATIONS
1	8 00	67	6 500	476 046	64,4	66	
2	8 15	66,6	6 500	477 013	62,6	63	
3	8 30	66,8	6 500	477 952	63,8	66	
4	8 45	67,4	6 500	478 909	63,8	64	
5	9 00	67,6	6 500	479 866	63,1	66	
6	9 15	67,2	6 500	480 813	63	66	
7	9 30	67,2	6 500	481 759	61,9	65	
8	9 45	67	6 500	482 688	63,2	65	
9	10 00	67,2	6 500	483 637	62,7	64	
10	10 15	67	6 500	484 578	63,4	64	
11	10 30	67	6 500	485 529	63,2	65	
12	10 45	67	6 500	486 478	65,2	65	
13	11 00	67,2	6 500	487 456	65,2	66	
14	11 15	67	6 500	488 435	65,4	68	
15	11 30	67,2	6 500	489 416	67,1	67	
16	11 45	67	6 500	490 423	67,6	70	
17	12 00	67	6 500	491 438	67,1	68	
18	12 15	67	6 500	492 445	66,4	69	
19	12 30	67	6 500	493 441	66,8	69	
20	12 45	67	6 500	494 443	65,9	67	
21	1 00	67	6 500	495 432	65	67	
22	1 15	67	6 500	496 407	63,2	67	
23	1 30	67	6 500	497 356	64,6	66	
24	1 45	67	6 500	498 326	65	66	
25	2 00	67	6 500	499 301	63,6	66	
26	2 15	67	6 500	500 256	61,7	66	
27	2 30	67	6 500	501 182	65,4	65	
28	2 45	67	6 500	502 164	61,6	64	
29	3 00	67	6 500	503 088	62,1	64	
30	3 15	67,2	6 500	504 020	63	64	
31	3 30	67	6 500	504 965	61,4	64	
32	3 45	67	6 500	505 887	64,2	64	
33	4 00	67	6 500	506 851		66	
		2212,6	214 500				

Moyenne du vide du condenseur $= \frac{2212,6}{33} = 67°04.$

Pression moyenne de la chaudière $= \frac{214\ 500}{33} = 6\ 500.$

Montant total des tours de la machine $= 506\,851 - 476\,046 = 30\,805$ tours en 480 minutes

ou à la minute : $\frac{30\ 805}{480} = 64,2$ t.

DOSSIER TYPE — PIÈCE N° 3

Essai n° 3 du 2 novembre 1893.

C. — Tableau donnant les cotes des niveaux des biefs d'aspiration et de refoulement, le volume d'eau d'alimentation et le charbon consommé.

NUMÉROS DES ESSAIS	HEURE des OBSERVATIONS	COTE DE NIVEAU DES BIEFS AMONT	COTE DE NIVEAU DES BIEFS AVAL	DIFFÉRENCE de NIVEAU des biefs	QUANTITÉ D'EAU alimentée à la chaudière	POIDS DU CHARBON introduit sur la grille	OBSERVATIONS
1	8 00	— 0,605	+ 0,435	1,040	225 *l*	102 *kg*	
2	8 15	0,555	0,395	0,950			Charbon employé : *Cardiff.*
3	8 30	0,590	0,430	1,020	170	82	
4	8 45	0,535	0,375	0,910	185		
5	9 00	0,550	0,420	0,970	205	83	
6	9 15	0,540	0,420	0,960			A la fin des expériences, il est resté 122 *kg* de charbon.
7	9 30	0,535	0,420	0,955	200	84	
8	9 45	0,540	0,415	0,955	95		
9	10 00	0,540	0,420	0,960			
10	10 15	0,550	0,410	0,960	160		
11	10 30	0,575	0,395	0,970			La consommation a été de : 602 — 122 — 480 *kg*.
12	10 45	0,585	0,390	0,975	215		
13	11 00	0,605	0,390	0,995			
14	11 15	0,653	0,440	1,093			
15	11 30	0,615	0,370	0,985			
16	11 45	0,670	0,430	1,100	230		
17	12 00	0,648	0,415	1,063		84	
18	12 15	0,660	0,422	1,082			
19	12 30	0,660	0,428	1,088	295		
20	12 45	0,620	0,405	1,025			
21	1 00	0,600	0,415	1,015	125		
22	1 15	0,590	0,420	1,010			
23	1 30	0,580	0,412	0,992			
24	1 45	0,580	0,414	0,994	240		
25	2 00	0,570	0,410	0,980	175		
26	2 15	0,575	0,415	0,990	300	8	
27	2 30	0,570	0,405	0,975			
28	2 45	0,565	0,402	0,967	125		
29	3 00	0,557	0,390	0,947		84	
30	3 15	0,565	0,400	0,965	125		
31	3 30	0,575	0,400	0,975	150		
32	3 45	0,562	0,370	0,932			
33	4 00	0,600	0,415	1,015	50		
				32,813	3 270 *l*	602 *kg*	

Moyenne des différences de niveau des biefs : $\frac{32,813}{33} = 0,994\ m.$

Consommation d'eau à l'heure : $\frac{3\,270\ l}{8} = 409\ l.$

Consommation de charbon à l'heure : $\frac{480\ kg}{8} = 60\ kg.$

DOSSIER T

Essai

D. — Tableau donnant les relevés de H et de *e* du déversoir, ainsi

NUMÉROS des ESSAIS	HEURE des OBSERVATIONS	DÉBITS D'APRÈS LA FORMULE BOILEAU — ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU — *e* sur l'arête du déversoir	H à 2,80 *m* en amont du déversoir	Q DÉBITS d'après la courbe des coefficients d'expériences *m* de Boileau	Q' DÉBITS d'après la c… des coeffici… théorique… calculés avec…
		m	*m*	*l*	*l*
1	8 00	0,419	0,477	2 660	2 540
2	8 15	0,377	0,436	2 325	2 220
3	8 30	0,410	0,470	2 590	2 470
4	8 45	0,376	0,435	2 318	2 215
5	9 00	0,405	0,460	2 550	2 435
6	9 15	0,403	0,461	2 535	2 420
7	9 30	0,403	0,461	2 535	2 420
8	9 45	0,399	0,460	2 514	2 395
9	10 00	0,399	0,460	2 514	2 395
10	10 15	0,396	0,456	2 480	2 365
11	10 30	0,395	0,455	2 470	2 360
12	10 45	0,385	0,445	2 392	2 280
13	11 00	0,383	0,443	2 375	2 [illegible]
14	11 15	0,422	0,483	2 680	2 57[illegible]
15	11 30	0,370	0,429	2 270	2 17[illegible]
16	11 45	0,413	0,476	2 610	2 49[illegible]
17	12 00	0,400	0,461	2 514	2 39[illegible]
18	12 15	0,408	0,469	2 575	2 45[illegible]
19	12 30	0,411	0,472	2 596	2 48[illegible]
20	12 45	0,393	0,451	2 453	2 34[illegible]
21	1 00	0,401	0,463	2 520	2 405
22	1 15	0,407	0,467	2 568	2 450
23	1 30	0,397	0,461	2 488	2 370
24	1 45	0,399	0,462	2 514	2 395
25	2 00	0,399	0,462	2.514	2 395
26	2 15	0,399	0,462	2 514	2 395
27	2 30	0,395	0,455	2 470	2 [illegible]
28	2 45	0,393	0,452	2 453	2 34[illegible]
29	3 00	0,393	0,452	2 453	2 34[illegible]
30	3 15	0,393	0,452	2 453	2 343
31	3 30	0,383	0,448	2 375	2 [illegible]
32	3 45	0,366	0,423	2 235	2 1[illegible]
33	4 00	0,405	0,463	2 550	2 435
		13,097	15,082	82 063	78 341
		e moyen $= \frac{13,097}{33} = 0,397.$	H moyen $= \frac{15\,082}{33} = 0,457$	$Q = \frac{82\,063}{33} = 2\,487\ l$	$Q' = \frac{[illegible]}{[illegible]} = [illegible]$

ÈCE N° 4

bre 1893.

espondants et les débits d'après l'emploi du moulinet Baumgarten.

DÉBITS D'APRÈS LE MOULINET BAUMGARTEN					OBSERVATIONS
H' HAUTEUR TOTALE de l'eau dans le couloir H' = S ou 0,406 + H	S' SURFACE de la section de l'eau dans le couloir S' = H × 4,00	V VITESSE de l'eau dans la section considérée (N × 0,00192) + 0,085	V' VITESSE moyenne V' = V × 0,955	Q'' DÉBITS = S' × V'	
m	m²	m	m	l	
0,883	3,532	0,690	0,659	2 528	
0,842	3,368	0,671	0,642	2 159	
0,876	3,504	0,701	0,669	2,344	
0,841	3,364	0,709	0,677	2 277	
0,866	3,464	0,701	0,669	2 318	
0,867	3,468	0,717	0,685	2 376	
0,867	3,468	0,715	0,683	2 369	
0,866	3,464	0,717	0,685	2 373	
0,866	3,464	0,719	0,687	2 380	
0,862	3,448	0,692	0,661	2 279	
0,861	3,444	0,713	0,681	2 345	
0,851	3,404	0,730	0,697	2 373	
0,849	3,396	0,726	0,693	2 353	
0,889	3,556	0,742	0,709	2 521	
0,835	3,340	0,690	0,659	2 201	
0,882	3,528	0,724	0,691	2 438	
0,867	3,468	0,721	0,689	2 390	
0,875	3,500	0,747	0,713	2 496	
0,878	3,512	0,770	0,735	2 581	
0,857	3,428	0,759	0,725	2 485	
0,869	3,476	0,763	0,729	2 534	
0,873	3,492	0,747	0,713	2 490	
0,867	3,468	0,749	0,715	2 479	
0,868	3,472	0,774	0,739	2 566	
0,868	3,472	0,765	0,731	2 538	
0,868	3,472	0,778	0,743	2 580	
0,861	3,444	0,763	0,729	2 511	
0,858	3,432	0,734	0,701	2 406	
0,858	3,432	0,759	0,725	2 488	
0,858	3,432	0,761	0,727	2 495	
0,854	3,416	0,765	0,731	2 497	
0,829	3,316	0,776	0,741	2 457	
0,869	3,476	0,795	0,759	2 638	
				80 265	
				$Q'' = \frac{80\ 265}{33}$ = 2 432 l	

DOSSIER TYPE — PIÈCE N° 5

Essai n° 3 du 2 novembre 1893.

E. — Calculs déterminant tous les résultats de l'essai.

1° *La quantité de vapeur produite par kilogramme de charbon.*

On trouve dans le tableau C que la consommation de charbon a été de 480 *kg* et la consommation d'eau de 3 270 *l*.

Chaque kilo de charbon a donc vaporisé :

$$\frac{3\,270}{480} = 6{,}81 \; kg.$$

2° *La consommation de charbon à l'heure par décimètre carré de surface de grille.*

D'après les tableaux : $\frac{60}{110} = 0{,}545 \; kg.$

3° *La vaporisation par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière et par heure.*

D'après les tableaux : $\frac{409}{70} = 5{,}84 \; kg.$

4° *Le débit.*

Le débit a été calculé par les trois procédés détaillés à la notice descriptive.

Les chiffres trouvés par l'emploi du déversoir sont $Q = 2\,487 \; l$ et $Q' = 2\,374 \; l$ et par l'emploi du moulinet $Q'' = 2\,432 \; l$.

La moyenne est de : $\frac{2\,487 + 2\,374 + 2\,432}{3} = 2\,431 \; l.$

5° *Le travail moyen indiqué sur le piston.*

Même formule que celle indiquée à la pièce E du dossier n° 1,

$$TI + T'I = \mathfrak{T}I = \frac{S\,pm + S'\,p'm}{2} \times V$$

$$V = \frac{2\,nl}{60} =$$

arrière $S = 0{,}10921 \; m^2$ (déjà calculé).
avant $S' = 0{,}1060 \; m^2$ (déjà calculé).

En chevaux on a ci-dessous le travail total indiqué en faisant $TI + T'I = \mathfrak{T}I$

$$\mathfrak{T}I = \frac{(1\,092{,}1 \times 2{,}124 + 1\,060 \times 1{,}958)\,nl}{75 \times 60}$$

$$\mathfrak{T}I = \frac{(1\,092{,}1 \times 2{,}124 + 1\,060 \times 1{,}958)\,64{,}2 \times 0{,}920}{4\,500}$$

$$\mathfrak{T}I = \frac{4\,395{,}10 \times 59{,}06}{4\,500}\,57{,}68 \; ch.$$

6° Le travail effectif moyen en eau montée.

La hauteur moyenne d'élévation a été de 0,994 *m* et le débit moyen de 2 431 *l*, le travail effectif moyen en eau montée est de :

$$\frac{2\,431 \times 0{,}994}{75} = 32{,}22 \ ch.$$

7° Le rapport du travail effectif en eau montée au travail indiqué ou rendement de l'appareil élévatoire :

Ce rapport est le suivant : $\frac{32{,}22}{57{,}68} = 0{,}558.$

8° Le rendement de la pompe seule :

La machine Farcot a seule un rendement de 90 °/₀, cela résulte de nombreuses expériences faites sur ce type bien connu, mais la transmission de la force à l'arbre de la pompe par les deux roues d'engrenage absorbe une certaine quantité de travail qu'il nous a été impossible de mesurer dans nos conditions d'installation et que nous avons admis de 5 °/₀. Il reste donc 0,85 comme coefficient entre le travail indiqué et le travail transmis à la pompe.

$$\frac{0{,}558}{0{,}85} = 0{,}656.$$

9° La consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure :

D'après les tableaux : $\frac{409}{57{,}68} = 7{,}09 \ kg.$

10° La consommation de vapeur par cheval effectif en eau montée et par heure :

D'après les tableaux : $\frac{409}{32{,}22} = 12{,}69 \ kg.$

11° La consommation de charbon par cheval indiqué et par heure :

D'après les tableaux : $\frac{60}{57{,}68} = 1{,}04 \ kg.$

12° La consommation de charbon par cheval effectif en eau montée et par heure :

D'après les tableaux : $\frac{60}{32{,}22} = 1{,}86 \ kg.$

TABLEAU GÉNÉRAL DE

DÉSIGNATION	ESSAI N° 1	ESSAI N° 2	ESSAI N° 3	ESSAI N
	à 1,50 *m* de différence de niveau		à 1,00 *m* de différen de niveau	
	A GRAND DÉBIT — machine A chaudière A	A 2 000 *l* — machine A chaudière A	A 2 500 *l* — machine B chaudière B	A GRAND D — machin chaudiè
Durée des essais	1 h. 15 m.	8 heures	8 heures	1 h. 15
Pression moyenne à la chaudière	6,266 *kg*	6,500 *kg*	6,500 *kg*	6,541
Vide moyen du condenseur	66°,35	66°,93	67°,04	67°
Nombre moyen de tours de la machine par minute.	77,2	74,9	64,2	68,7
Hauteur moyenne d'élévation	1,467 *m*	1,341 *m*	0,994 *m*	1,106
Quantité de vapeur produite par kilo de charbon.	6,4 *kg*	7,4 *kg*	6,81 *kg*	6,23
Consommation de charbon à l'heure par décimètre carré de surface de grille	1,57 *kg*	0,725 *kg*	0,545 *kg*	0,888
Vaporisation par mètre carré de surface de chauffe de la chaudière et par heure	15,44 *kg*	8,43 *kg*	5,84 *kg*	8,68
Débit moyen de la pompe par seconde	3 095 *l*	2 273 *l*	2 431 *l*	2 900
Travail moyen indiqué sur le piston	114,44 *ch*	83,56 *ch*	57,68 *ch*	74,93
Travail effectif moyen en eau montée	60,53 *ch*	40,64 *ch*	32,22 *ch*	42,77
Rapport du travail effectif en eau montée et le travail indiqué en rendement de l'appareil élévatoire.	0,529	0,486	0,558	0,571
Rendement de la pompe seule	0,622	0,572	0,656	0,672
Consommation de vapeur par cheval indiqué et par heure	9,44 *kg*	7,06 *kg*	7,09 *kg*	8,11 k
Consommation de vapeur par cheval effectif en eau montée et par heure	17.46 *kg*	14,51 *kg*	12,69 *kg*	14,21
Consommation de charbon par cheval indiqué et par heure	1,51 *kg*	0,954 *kg*	1,04 *kg*	1,302
Consommation de charbon par cheval effectif en eau montée et par heure	2,80 *kg*	1,962 *kg*	1,86 *kg*	2,28 k
Consommation minima garantie par cheval effectif en eau montée et par heure	2,500 *kg*	2,000 *kg*	2,200 *kg*	2,75

ÉSULTATS DES ESSAIS

…AI N° 5	ESSAI N° 6	OBSERVATIONS
…,50 m de différence de niveau		
A …000 l — …hine B …dière B	A GRAND DÉBIT — machine A chaudière A	
…heures	4 heures	On a donné tous les chiffres de consommation, mais on doit remarquer que pour les essais n° 1 et n° 4, qui n'ont eu une durée que de une heure un quart, les relevés de charbon peuvent n'être pas très exacts, vu le peu de combustible employé pendant ce temps, surtout pour le n° 1, essai arrêté par suite d'un accident à l'alimentation.
…500 kg	6,500 kg	
…°,23	67°,06	
…,03	58,6	
…157 m	0,5756 m	
…,43 kg	5,7 kg	
…366 kg	0,97 kg	
…,70 kg	8,68 kg	On peut remarquer ici que lorsqu'on avait besoin de trop peu de force, la chaudière n'avait pas assez de vapeur à fournir et se trouvait dans de très mauvaises conditions de vaporisation. L'élasticité qu'on est obligé de demander à la chaudière, qui doit suffire dans tous les cas, explique les chiffres faibles de vaporisation au mètre carré quand la surface de chauffe se trouve bien trop considérable pour la vapeur à fournir.
…010 l	5 038 l	
…,37 ch	81,44 ch	
…,70 ch	38,66 ch	
…,602	0,475	
…,708	0,559	
…54 kg	7,48 kg	
…,51 kg	15,71 kg	
…17 kg	1,30 kg	
…95 kg	2,75 kg	
…00 kg	3,125 kg	

NOTICE NÉCROLOGIQUE

SUR

P.-E. MAUGUIN

PAR

M. A. MALLET

La Société des Ingénieurs Civils de France vient de perdre un de ses membres les plus distingués dans l'industrie des constructions métalliques, où elle compte de nombreux et éminents représentants. Au nom des camarades de promotion de ce regretté Collègue, nous croyons devoir retracer rapidement sa carrière si bien remplie et rappeler les plus importants des travaux auxquels il a collaboré ou qu'il a dirigés et qui tous honorent au plus haut degré notre profession.

Pierre-Étienne Mauguin, né en 1835 à Marcigny (Saône-et-Loire), entra en 1855 à l'École Centrale et en sortit en 1858, un des premiers par ordre de mérite dans la spécialité des constructeurs, spécialité dans laquelle il devait faire toute sa carrière et parvenir à une situation très considérable. Il entra immédiatement dans les bureaux de M. Joret, qui préludait alors aux grands travaux qui devaient amener rapidement sa maison au premier rang dans l'industrie des constructions en fer. Mauguin, par son intelligence et les rares qualités qui le distinguaient, se fit promptement remarquer de son chef et ne tarda pas à devenir pour lui un collaborateur précieux. Il coopéra au développement des établissements Joret, à la création des ateliers de Montataire et à tous les grands travaux exécutés par cette maison en France, en Algérie et à l'Étranger.

Nous ne saurions énumérer ici les constructions métalliques établies par la maison Joret et la Société des Ponts et Travaux en fer qui lui a succédé en 1882. Nous nous bornerons à rappeler quelques-unes des plus intéressantes en commençant par le pont construit en 1867 pour faire communiquer la berge de la Seine avec le Champ de Mars à l'occasion de l'Exposition universelle.

Ce pont avait 25 *m* de portée sur 21 *m* de largeur, il était en arc et construit en acier Bessemer. Avec la charge réglementaire

à l'épreuve de 400 *kg* par mètre carré, le métal travaillait à 11,30 *kg* par millimètre carré. C'est le premier pont en acier établi en France. D'après une lettre de M. Cheysson, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, ancien Directeur du service des machines à l'Exposition de 1867, sous la direction duquel cet ouvrage avait été établi, lettre insérée dans le *Génie Civil* du 24 février dernier, après l'Exposition de 1867, ce pont a été rétabli sur la Vilaine, à Port de Roche, où il forme un ouvrage à trois arches de 25 *m* de portée chacune et 6 *m* de largeur et supporte depuis 25 ans le trafic d'une route départementale.

Nous citerons également les ponts Sully à Paris, la Galerie Victor-Emmanuel, à Milan, la halle de la gare de Rome, les constructions des Expositions universelles de 1867, 1878 et 1889, à Paris, les viaducs de Collonges (Ain) et de Marly-le-Roi (Grande Ceinture), des halles et marchés considérables, les ponts sur les réseaux Algériens P.-L.-M., Est et Ouest, le pont de Castejon sur l'Ebre, travail des plus remarquables consistant dans la substitution sur 600 *m* de longueur d'un pont à poutres continues reposant sur des piles en maçonnerie à des travées indépendantes établies sur tubes en fonte, substitution opérée sans interruption dans l'exploitation, les caissons métalliques des formes de radoub de Missiessy, à Toulon, et de Saïgon construites par notre Collègue et ancien Président, M. H. Hersent, enfin le pont de la Siagne en travées et palées métalliques sur le réseau du. Sud de la France et le pont de Manda sur le Var pour route et voie ferrée.

En dehors des constructions métalliques proprement dites, nous pouvons ajouter, parmi les ouvrages auxquels a collaboré notre Collègue, des travaux importants en Algérie, comprenant terrassements, tunnels, ponts et viaducs en maçonnerie, etc., tels que la section de Beni-Amran à Dra-el-Mizan, de 36 *km* et celle de Menerville à Tizi-Ouzou de 53 *km*, toutes deux sur le réseau de l'Est Algérien, puis les travaux considérables du chemin de fer de Saïgon à Mytho et enfin ceux du Canal de Corinthe. Nous ne saurions terminer cette nomenclature sans nous arrêter un instant sur la question des chemins de fer de l'Hérault.

Ces lignes d'intérêt local furent établies sous le régime de la loi de 1865 avec un programme économique consistant à donner passage au matériel de transport des grandes Compagnies mais non à leurs locomotives; la voie était donc à l'écartement normal, en rails de 25 *kg* avec des rampes de 30 p. 1000 et des courbes descendant à 200 *m* de rayon. Feu M. P.-D. Bazaine, Ingénieur en chef

des Ponts et Chaussées, avait été un des plus ardents promoteurs de ce système qui avait soulevé à l'époque de vives discussions dont on peut retrouver les traces dans les séances de notre Société. Des malheurs financiers auxquels la question technique était entièrement étrangère n'ont pas permis de porter un jugement définitif sur le mérite de cette entreprise. Mauguin s'était toujours occupé avec prédilection de cette affaire, il s'était attelé à son relèvement et avait réussi à la mettre en bonne voie, il est mort sans avoir pu jouir du succès final.

Président du Conseil d'administration de la Société des Ponts et Travaux en fer, administrateur des chemins de fer de l'Hérault, notre Collègue siégeait aussi au Conseil de la Société des anciens Établissements Cail où il apportait un concours très apprécié par sa parfaite connaissance des affaires, la justesse de ses vues et son grand sens pratique. Il avait été nommé chevalier de la Légion d'honneur à la suite de l'Exposition de 1889 où la Société des Ponts et Travaux en fer avait fourni les remarquables charpentes des dômes des Palais des Arts Libéraux et des Beaux-Arts.

Chez Mauguin l'homme privé ne le cédait pas en qualités à l'ingénieur; sa droiture, sa bienveillance, la sûreté de son commerce lui conciliaient l'estime et l'affection de tous ceux qui avaient eu affaire à lui, il aimait à obliger et il le faisait avec une discrétion parfaite. Parvenu à une situation éminente, n'ayant plus rien à désirer comme fortune, honneurs et considération, il pouvait espérer jouir encore bien des années d'une position gagnée par son travail et son intelligence, lorsque la mort est venue l'enlever après quelques jours d'une maladie causée en grande partie par un excès de fatigue intellectuelle et physique. La foule d'amis, collègues, employés et ouvriers qui se pressait le 25 mai dernier dans l'église de la Trinité pour lui rendre les derniers devoirs témoignait éloquemment des regrets mérités qu'il laissait derrière lui.

Mauguin était entré en 1863 à la Société des Ingénieurs Civils de France. Respectueux des statuts, pour se conformer à l'article 7, il avait déposé la même année un mémoire fait en collaboration avec M. Sébillot sur un projet de distribution d'eau de Seine dans Paris au moyen d'un canal de dérivation entre Asnières et Bezons. La question des eaux de Paris était à ce moment à l'ordre du jour et donnait lieu à des discussions très vives. Le canal projeté par nos Collègues, de 5 *km* de longueur, devait permettre de créer une chute de 2,50 à 2,80 *m* en étiage et 1,70 pendant les hautes

eaux qui ne durent que peu de temps et on y aurait installé des moteurs hydrauliques. La prise d'eau d'Asnières était à proximité des réservoirs qui devaient être établis sur les hauteurs de Montmartre. Les eaux ainsi amenées auraient été consacrées au service public de la voirie, et on aurait conservé pour l'alimentation la dérivation projetée des eaux de la Dhuis.

L'examen de ce mémoire avait été renvoyé à l'examen de Faure qui devait en faire l'objet d'un compte rendu qui eut certainement été intéressant. La mort de notre ancien Président survenue peu après fit que ce compte rendu ne parut jamais. Mais le mémoire imprimé se trouve dans la Bibliothèque de la Société, sous le titre : « Eaux de Paris. — Recherches sur l'approvisionnement économique des services publics ». Ce travail sera encore aujourd'hui consulté avec intérêt.

CHRONIQUE

N° 174

Sommaire. — Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemins de fer (*suite et fin*). — Le combustible liquide à l'Exposition de Chicago. — Le port de Tampico. — Conduites d'eau en bois aux États-Unis. — Prony et la mesure du travail.

Effet utile des machines d'alimentation d'eau des gares de chemins de fer (*suite et fin*). — 3° Si on groupe les résultats des expériences dont nous nous occupons, d'après les différents systèmes de pompes employés, on arrive aux conclusions suivantes :

a. Les appareils qui dépensent le plus de vapeur, à travail égal, sont les injecteurs, après viennent les pulsomètres. Les injecteurs employés dépensent au moins $\frac{84\,000}{1\,310} = 64$ fois plus que les machines de Cornouailles, et les pulsomètres $\frac{84\,000}{2\,300}$ 37 fois plus que ces machines. Cette infériorité ne provient ni de la faible dimension de ces appareils ni du peu de hauteur à laquelle ils peuvent aspirer, mais de la nature même de leur construction qui fait qu'une grande partie du calorique est employée à chauffer inutilement l'eau élevée. En pratique, l'effet utile des injecteurs et appareils analogues ne dépend pas du tout de leur grandeur ou de la quantité d'eau qu'ils élèvent ; il n'en est pas de même de la hauteur d'élévation; si celle-ci augmente, l'effet utile diminue et il arrive une hauteur où ils ne sont plus applicables. Bien que, sous ce rapport, le pulsomètre soit très supérieur à l'injecteur, il n'en est pas moins vrai qu'il a l'inconvénient d'exiger une chaudière deux ou trois fois plus grande que pour une pompe à vapeur et, comme on peut avoir maintenant à bon marché des pompes de ce genre, il n'y a plus de raison d'avoir actuellement recours à ce genre d'appareils, même au point de vue de l'économie dans les frais d'établissement. On ne peut les employer que dans des cas exceptionnels, par exemple si le combustible ne coûte à peu près rien, si on a de la vapeur en excès provenant d'une source voisine, ou si on n'a ni la place ni le temps pour installer une pompe, enfin, dans le cas où il est nécessaire de chauffer l'eau, auquel cas ces appareils, quoique peu économiques par eux-mêmes, peuvent le devenir au point de vue du résultat final.

b. Après les injecteurs et pulsomètres viennent, au point de vue des fortes dépenses de vapeur, les pompes Hayward Tyler. La pompe de ce système, installée à la station de Zabolotié, s'est montrée particulièrement médiocre au point de vue de l'effet utile. Il est vrai que les pistons et tiroirs primitifs avaient été remplacés par des pièces semblables, faites sur place, et qu'il est bien possible que quelques dimensions aient été modifiées. Dans des machines où la précision de ces parties joue un

grand rôle, des modifications, même légères, peuvent affecter le rendement d'une manière très appréciable. Une pompe de ce système, établie à la station de Zdolbounovo, a donné de beaucoup meilleurs résultats et est arrivée assez près des pompes Reschitz de petit modèle ; elle a donné 1 811 *kgm* par kilogramme de vapeur, tandis que la pompe Reschitz en a donné 2 150 pour le plus faible rendement.

c. Les pompes à vapeur les plus employées ne peuvent guère être classées par rang d'effet utile à cause de l'exactitude insuffisante des essais, et à cause aussi des différences qu'on rencontre entre elles au point de vue de la hauteur d'élévation, du débit et de l'état d'entretien des appareils. En tout cas, les pompes Reschitz occupent le bas de l'échelle ; leur effet utile maximum a été constaté à Pomosknaia, Elizavetgrad, Shestakovka et Razdelnaia et n'a pas dépassé 2 150 à 3 000 *kgm* par kilogramme de combustible (essais 4-7). Mais ce faible rendement peut être en partie expliqué par les petites dimensions des machines qui développaient moins de 2 *ch*. Des pompes du même système, mais plus puissantes, établies à Zatichié et Katerinowka, ont donné de 4 150 à 5 300 *kgm* par kilogramme de vapeur (essais 1-2). Il est certain que, lorsque les dimensions d'une pompe diminuent, la proportion du travail absorbée par les frottements augmente et dans les petits appareils de 1 à 3 *ch* seulement, cette proportion est plus considérable que celle qui correspond au travail utile, si on y ajoute les pertes de divers ordres. Si on compare, par exemple, la pompe Reschitz de Zatichié (essai n° 1) avec la pompe Worthington compound de Gaicine (essai 28) de la même puissance à peu près, on voit que la première a donné seulement 4 150 *kgm* et l'autre 6 460 *kgm* par kilogramme de vapeur. Ici la différence entre les résultats ne peut être attribuée à la différence de puissance et de dimensions.

Les autres systèmes de pompes ont donné généralement des effets utiles notablement supérieurs. La pompe Worthington ordinaire a été jusqu'à 6 545 *kgm* à Kivertzy (essai 24) et à 7 835 *kgm* à Krijopol (essai 20) ; la seconde est de plus grandes dimensions et de construction américaine, tandis que les autres ont été faites aux ateliers Liszt à Moscou. Les pompes Blake compound ont donné un effet utile, allant jusqu'à 8 945 *kgm* par kilogramme de vapeur à Birzoula (essai 33). La Worthington compound de la même station a donné 11 407 *kgm*, marchant sans condensation (essai 31) et 12 100 *kgm* marchant à condensation (essai 30). Les résultats comparativement remarquables donnés par cette dernière machine ne doivent pas être attribués seulement aux bonnes dispositions du système, mais encore, dans une certaine mesure, aux dimensions de la machine ; elle débite 44 850 *l* par heure à une hauteur de 180 *m*, et développe plus de 28 *ch*. On remarquera que l'avantage de 6 0/0 donné par l'emploi de la condensation ne correspond pas à ce qu'on aurait pu espérer, et cela à cause de la mauvaise disposition du condenseur.

4° Lorsqu'à une station on a remplacé une pompe par une autre d'un système différent, on a fait une comparaison entre les résultats donnés par l'ancien et le nouvel appareil, au point de vue de l'eau élevée

par kilogramme de vapeur, et du travail réalisé par la même unité. Ces résultats comparatifs sont donnés dans le tableau D.

TABLEAU D

STATIONS	NUMÉROS DES ESSAIS	ANCIENNES ET NOUVELLES POMPES	EAU ÉLEVÉE par kilog. de vapeur	TRAVAIL en kilogrammètres par kilog. de vapeur
Razdelnaia	4	Ancienne pompe Reschitz. . . .	47,5	3 000
	36	Nouvelle pompe Blake compound	95,8	6 545
Kaijopol	8	Ancienne pompe Cail.	89,5	6 444
	20	Nouvelle Worthington ordinaire.	103	7 835
Wessiolly Koute	13	Ancienne pompe Cockerill . . .	39	7 707
	29	Nouvelle Worthington compound	46	10 007
Zdolbounovo (1)	17	Ancienne Hayward Tyler. . . .	129	1 812
	21	Nouvelle Worthington ordinaire.	152	5 935
Birzoula	33	Pompe Blake compound	52,6	8 945
	31	Worthington compound, sans condensation	63,4	11 407

(1) En même temps qu'on a changé la machine d'alimentation de cette station, on a aussi changé la prise d'eau, de sorte que la charge a passé de 14 à 39 *m*, y compris le frottement de l'eau dans la conduite.

On doit faire observer ici que l'avantage constaté par les nouvelles pompes sur les anciennes ne donne pas toujours la preuve de la supériorité des premières; il tient également, en partie, à ce que les nouveaux appareils, établis en vue d'un débit d'eau supérieur, bénéficient de l'avantage d'une bien plus grande puissance. La consommation de combustible a été réduite par le remplacement des anciennes pompes par les nouvelles dans la proportion de l'accroissement d'effet utile indiqué par les chiffres du tableau D.

5° Il est intéressant de rapprocher les résultats obtenus dans les expériences faites aux chemins de fer Sud-Ouest de ceux que d'autres observateurs ont constaté sur des appareils analogues. Voici quelques exemples :

Dans le *Journal de la Société des Ingénieurs allemands* (1886 p. 16), on rapporte la consommation de vapeur d'un pulsomètre comparativement à des pompes à vapeur ordinaire et compound à condensation (1). Les

(1) Voir Chronique de janvier 1886, p. 89.

résultats sont pour les trois dans le rapport de 20 à 10 et à 4. La consommation de vapeur du pulsomètre, double de celle des pompes ordinaires, concorde bien avec les observations du mémoire; mais la réduction de 10 à 4 obtenue par la substitution à la machine ordinaire d'une machine compound à condensation peut paraître quelque peu exagérée.

Dans le *Journal de l'Institut de Franklin* (octobre 1889, p. 276, 293), se trouvent rapportées quelques expériences intéressantes de M. B. Isherwood, Ingénieur en chef de la marine des États Unis, sur la comparaison entre une pompe ordinaire à vapeur, une pompe rotative actionnée par le volant de la machine précédente et un injecteur. Les trois appareils étaient employés pendant les expériences à l'épuisement de la cale d'un navire et évacuaient l'eau à une hauteur de 5,40 *m*. Les débits respectifs étaient par heure, de 20 370 litres pour la pompe à vapeur, 17 750 pour la pompe rotative et 11 460 pour l'injecteur. Si on compare ces chiffres avec ceux des pompes de Zabolotié (essais 18, 19) et de l'injecteur de Klestchely (essai 16) on voit que la quantité d'eau est plus grande pour le premier, mais la hauteur d'élévation moindre. Les expériences de M. Isherwood duraient de 24 à 72 heures et étaient faites avec le plus grand soin. Voici les principaux résultats qu'elles ont donnés.

	Pompe ordinaire	Pompe rotative	Injecteur
Hauteur d'élévation, frottement compris	5,40 *m*	5,40 *m*	5,40 *m*
Débit par heure	20 370 *l*	17 750 *l*	11 460 *l*
Effet utile pour cent	86	58	—
Pression effective à la chaudière	2,12 *kg*	2,12 *kg*	2,12 *kg*
Eau élevée par kilogr. de vapeur	136	109	37,45
Travail en kilogrammètres par kilogramme de vapeur	732	586	201

Ainsi le travail fait par un kilogramme de vapeur dans les pompes et l'injecteur a été moindre qu'à Zabolotié et à Klestchely, ce qui tient à la moindre hauteur d'élévation dans les expériences de M. Isherwood. Partout, du reste, l'injecteur s'est montré très peu économique. L'infériorité de la pompe rotative sur la pompe à piston dans les expériences américaines est due selon toute probabilité, en grande partie, aux fuites d'eau entre les cylindres tournants.

Dans le *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse* (1889, p. 151), on trouve les résultats de l'essai d'une pompe Tangye donné par M. Walther-Meunier. Cette pompe appartient au genre des pompes à vapeur à action directe sans volant, comme la pompe Hayward-Tyler. Dans les essais dont il s'agit le débit a été par heure de 3 600 litres environ à 11,23 *m* de hauteur. Les chiffres se rapprochent de ceux de la pompe de Zabolotié (essai 18) bien que les dimensions des deux pompes soient assez différentes. Les meilleurs résultats trouvés dans ces essais sont les suivants :

Hauteur d'élévation, compris frottements	11,23 *m*
Débit par heure	3 616 *l*

TABLEAU E

SYSTÈME DE POMPES	NUMÉROS DES ESSAIS	STATIONS	COMBUSTIBLE — NATURE	COMBUSTIBLE — CONSOMMATION PAR HEURE	PRESSION EFFECTIVE AUX CHAUDIÈRES	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR HEURE	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR CHEVAL ET PAR HEURE	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR KILOG DE COMBUSTIBLE	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	RENDEMENT DE LA POMPE EN VOLUME	HAUTEUR D'ÉLÉVATION RÉSISTANCES COMPRISES	EAU ÉLEVÉE — PAR HEURE	EAU ÉLEVÉE — PAR KG. DE VAPEUR	TRAVAIL — EN CHEVAUX	TRAVAIL — EN KGM. PAR KG. DE VAPEUR
				kg	kg	kg	kg	kg		°/₀	m	l	l		
Reschitz	1	Zatichié.	Donetz. . . .	40	2,80	245	66	6,10	13,6	76	121	8 380	34,3	3,71	4 154
	2	Katerinovka. . .	—	21	2,80	140	52	6,53	13,1	—	100	7 340	53,0	2,69	5 303
	3	Golta	—	39,4	3,20	205	83	5,20	14,3	78	56	11 960	58,5	2,47	3 282
	4	Razdelnaia. . . .	Cardiff. . . .	—	3,20	125	91	—	13,0	—	63	6 025	47,5	1,38	3 000
	5	Shestakovka. . .	—	36,1	3,20	236	120	6,58	13,2	70	78	6 920	28,1	1,97	2 193
	6	Pomoshnaia . . .	Donetz. . . .	21,1	1,55	136	126	6,50	18,0	71	64	4 620	33,5	1,08	2 150
	7	Elizavetgrad. . .	—	27	1,55	124	126	4,90	17,0	78	60	4 480	36,1	0,90	2 162
Cail	8	Krijopol.	Bois divers. .	61	3,55	170	43	2,78	20,3	80	72	15 040	89,5	3,97	6 445
	9	Fastov.	— . .	44	2,45	114	61	2,40	14,6	97	39	12 775	120	1,87	4 684
Verticale { Lilpop Rau	10	Imerinka	—	155	3,20	530	63	3,35	29,8	70	110	20 830	38	8,41	4 181
Verticale { Origine inconnue	11	Kieff	—	39	2,80	145	60	3,60	21,5	90	280	22 510	164	2,42	4 503
Cockerill	12	Perecrestovo. . .	Donetz. . . .	62	4,25	340	37	5,50	10,9	81	184	13 680	40,4	9,21	7 435
	13	Wessiolly Koute.	—	63	4,25	287	85	6,73	9,6	80	195	11 460	39	8,19	7 606
	14	Karpovo.	—	40	2,45	250	48	6,38	11,3	77	144	9 875	38,9	5,21	5 505
Pulsomètre	15	Klestchely. . . .	Sapin	74	4,25	163	389	2,23	—	—	11,6	9 966	61	0,42	715
Injecteurs	16	Klestchely. . . .	—	81	4,25	182	652	2,23	—	—	11,6	6 390	35	0,28	399
Hayward Tyler sans condensation	17	Zdolbounovo + .	Chêne. . . .	49,4	3,55	124	140	2,58	84,4	76	14	16 520	129	0,92	1 811
	18	Zabolotié (usée) .	—	55,5	3,55	123	308	2,24	99,4	—	10	11 140	90	0,40	900
avec condensation, mais condenseur mal installé	19	Zabolotié (usée) .	—	61,6	3,55	133	272	2,19	103,7	—	10	13 680	101	0,49	1 010

+ A Zdolbounovo, jusqu'en 1871, l'eau était prise dans un puits voisin de la station et élevée par une pompe Hayward-Tyler; depuis 1891, elle est prise dans un cours d'eau et élevée par une pompe Worthington.

TABLEAU E *(Suite.)*

SYSTÈME DE POMPES	NUMÉROS DES ESSAIS	STATIONS	COMBUSTIBLE — NATURE	COMBUSTIBLE — CONSOMMATION PAR HEURE	PRESSION EFFECTIVE AUX CHAUDIÈRES	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR HEURE	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR CHEVAL ET PAR HEURE	CONSOMMATION DE VAPEUR — PAR KILOG DE COMBUSTIBLE	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE	RENDEMENT DE LA POMPE EN VOLUME	HAUTEUR D'ÉLÉVATION RÉSISTANCES COMPRISES	EAU ÉLEVÉE — PAR HEURE	EAU ÉLEVÉE — PAR KG. DE VAPEUR	TRAVAIL — EN CHEVAUX	TRAVAIL — EN KGM. PAR KG. DE VAPEUR
				kg	kg	kg	kg	kg		°/o	m	l	l		
Pompes Worthington ordinaires venant des ateliers Liszt à Moscou, sauf celle marquée * qui vient des États-Unis.	20	Krijopol*	Donetz	39,4	5,0	287	35	7,28	60	83	76	29 480	103	8,19	7 835
	21	Zdolbounovo +	Sapin	75,3	—	272	48	3,62	50	88	39	39 860	152	5,67	5 935
	22	Ogenine	—	68,4	5,0	247	44	3,65	50	89	56	27 630	111	5,62	6 225
	23	Kazatine	—	69	4,25	210	46	3,15	60	85	40	31 200	144	4,58	5 764
	24	Kivertzy	—	48,3	4,25	174	43	3,50	50	85	43	25 730	152	4,04	6 545
	25	Koublitch	Donetz	17,5	4,25	112	53	6,50	50	85	58	10 060	88,5	2,12	5 133
	26	Christinovka	—	23	5,30	148	83	6,40	50	85	34	14 950	101	1,78	3 431
	27	Demkovka	—	12,6	3,90	98	83	7,75	50	83	34	10 060	102	1,18	3 471
Pompes Worthington Compound avec condensation mais condenseur mal installé	28	Gaicine	Donetz	23,4	5,3	152	43	6,45	50	82	98	9 920	65,9	3,56	—
	29	Wessiolly Koute	—	57,9	4,25	397	27	7,03	31,4	97	218	18 530	46	14,7	—
	30	Birzoula	—	110	5,7	653	23	5,88	86	90	186	45 065	67,1	28,4	12 119
sans condensation mais avec réchauffage de l'eau	31	Birzoula	—	118	5,7	672	24	5,73	85	90	180	42 670	68,4	28,0	11 400
sans condensation ni réchauffage de l'eau.	32	Birzoula	—	125	5,7	707	25	5,74	85	90	180	42 850	59,7	28,3	10 757
Blake Compound construites par les Owens Works	33	Birzoula	Donetz	—	5,7	339	30	—	20	86	170	18 250	52,6	11,3	8 950
	34	Kazatine	Bois	94	4,25	300	38	3,20	26	—	43	49 830	166	7,89	7 195
	35	Kazatine	—	73,3	4,25	230	40	3,18	20	91	41	38 100	163	5,76	6 734
	36	Razdelnaia	Cardiff	—	4,25	215	42	—	18,2	—	68	20 510	95,8	5,13	6 545

+ Même observation qu'à l'autre tableau au sujet de la pompe de la station de Zdolbounovo.

Pression effective à la chaudière	3 *kg*
Travail en eau montée en chevaux.	0,150
Vapeur par cheval et par heure.	383 *kg*
Eau élevée par kilogramme de vapeur.	63
Travail en kilogrammètres par kilogramme de vapeur.	707

Ces résultats concordent assez avec les chiffres obtenus à Zabolotié et l'effet utile moindre de la pompe essayée à Mulhouse tient aux plus faibles dimensions de l'appareil.

Dans la discussion qui a suivi cette communication, quelques membres, frappés de l'énorme consommation de vapeur accusée par la pompe à vapeur dont il vient d'être question, ont paru croire qu'il pouvait s'être glissé une erreur dans la position d'une virgule et que la dépense réelle serait plutôt 39 *kg* par cheval et par heure que 390 *kg*. M. de Borodine a répondu qu'une erreur s'était, en effet, produite et une erreur de ce genre, mais dans les bulletins de la Société de Mulhouse même. Si on se reporte, en effet, au texte même du rapport de M. Walther-Meunier (1889, p. 151) (1) en prenant, par exemple, le premier essai du tableau, on trouve inscrits une durée de l'expérience de 2 052 secondes, un débit par seconde de 1,19 *kg* à une hauteur de 11,5 *m* donnant un travail de 13,68 *kgm*. La consommation totale de vapeur de 49,8 *kg* pour les 2 052 secondes correspondrait pour une heure à 87,4 *kg*, soit pour 0,182 de cheval à 480 *kg* par cheval et par heure, au lieu de 48; les autres chiffres analogues 39, 40, etc., doivent de même être ramenés à 390, 400, etc.

L'énormité de ce chiffre s'explique par le très faible travail, moins d'un cinquième de cheval, effectué par un appareil dont les dimensions sont encore assez grandes relativement, le cylindre ayant 0.100 *m* de diamètre. Pour la faible hauteur d'élévation, 11,5 *m* dont il s'agissait, le pulsomètre eût été plus économique, parce qu'il n'a pas de résistances intérieures tandis que dans le cas dont nous parlons, le travail absorbé en résistances passives était certainement beaucoup plus considérable que le travail utile.

On a, dans la même discussion, donné des chiffres provenant d'essais récents sur les pulsomètres. Nous les rapporterons dans une prochaine chronique. Nous aurions voulu rapprocher des résultats donnés dans la communication de M. de Borodine ceux qui ont été présentés par M. Chavès dans les mémoires de 1862 et 1863 que nous avons rappelés au commencement de cette note, mais malheureusement ceux-ci ne se trouvent pas présentés sous une forme qui se prête à la comparaison. En effet, dans le grand tableau de la page 192 des *Mémoires et Comptes-rendus des travaux de la Société des Ingénieurs Civils*, année 1862, le travail n'est pas indiqué et il faut faire des calculs assez laborieux pour obtenir des bases de comparaisons. Nous avons pris sur le tableau n° 3 de la page 194 quelques chiffres qui nous permettront d'avoir un aperçu du travail utile.

On trouve ainsi pour les machines fixes que 1 *kg* de charbon brûlé à élevé 750 *l* à 55 *m*, soit 41 250 *kgm* dans un cas, dans un autre 1 280 à 12 *m*, soit 15 360 *kgm* et enfin 780 à 28 *m*, soit 21 840 *kgm*. Si on admet

(1) *Société des Ingénieurs Civils*, comptes rendus de juillet 1889, p. 108.

d'après les données du tableau de la page 192 une vaporisation moyenne de 5 *kg* d'eau par kilogramme de combustible, on trouve respectivement 8 250-3 120 et 4 370 *kgm* par kilogramme de vapeur pour des machines de 8, 4 et 2 1/2 *ch* de force nominale, soit en d'autres termes des dépenses de vapeur par cheval en eau montée et par heure de 32,7-82 et 62 *kg*. Ces chiffres correspondent très bien avec ceux de M. de Borodine.

Pour les locomobiles, on trouve, par le tableau page 195, que 1 *kg* de charbon a donné 2 110 *l* à 9 *m*, soit 18 990 *kgm* et 1 500 *l* à 23 *m*, soit 34 500 *kgm*. Les vaporisations étant, pour ces machines, en moyenne, de 6,75 *kg* d'eau par kilogramme de combustible, le travail en kilogrammètres peut être évalué respectivement par kilogramme de vapeur à 2 830 et 5 150 *kgm* pour des puissances nominales de 3 *ch*, ce qui corres pond à des consommations de vapeur de 95 et 52 *kg* par cheval en eau montée et par heure. Ces résultats correspondent également bien avec ceux de M. de Borodine.

L'importance qu'il y a à réduire la dépense d'élévation d'eau dans les gares peut s'apprécier par les chiffres suivants donnés dans la discussion par M. Thomas Urquhart, ancien Ingénieur en chef du chemin de fer de Griazi-Tzaritsine. La moyenne de la dépense du service de l'alimentation des gares a été, en 1890, pour les trois lignes de Griazi-Tzaritsine, Orel-Vitebsk et Moscou-Brest de 0,453 *f* par 1 000 essieux kilomètres, dont 0,28 *f* pour le combustible brûlé sous les chaudières. La dépense totale du service de l'alimentation a été pour la première de ces lignes de 136 000 *f* en 1882 et de 110 000 *f* en 1890. La différence tient à la substitution progressive et actuellement complète des résidus de pétrole au charbon pour le chauffage des chaudières des machines d'alimentation.

Le combustible liquide à l'Exposition de Chicago. — On sait que les générateurs de l'Exposition de Chicago étaient uniquement chauffés avec de l'huile minérale. Une communication de M. Leproux à la Société de l'industrie minérale (voir comptes rendus d'avril, p. 517) expose que ces générateurs étaient au nombre de 54 ayant une surface de chauffe totale de 9 300 m^2.

Les rapports officiels indiquent que la quantité totale d'huile brute de l'Ohio fournie à l'Exposition par le *Standard Oil Cy*, de mars à novembre 1893, a été de 1 273 201 barils. La consommation moyenne en mars a été de 90 barils par jour et en octobre de 1860. La quantité totale brûlée en six mois sous les chaudières a été de 252 724 barils. Dans ces constatations l'huile est comptée à raison de 7 livres ou 3,17 *kg* par gallon et le baril à 42 gallons, ce qui fait 133,18 *kg* par baril. Le marché de fourniture établissait, quelle que fût la quantité, un prix de 72,2 cents par barils, soit environ 3,72 *f* ou 0,028 *f* par kilogramme, ce prix compté dans les foyers même puisque l'huile arrivait directement du pays de production par des conduites.

On produisait à la pression de 8,9 *kg* par centimètre carré avec de l'eau à 100° centigrades 147 130 *kg* de vapeur avec 10 325 *kg* d'huile, ce qui donne une vaporisation de 14,25 par kilogramme de combustible. La

dépense par heure était de 289 *f*; le cheval-heure coûtait ainsi 0,029 *f* de combustible et 0,004 *f* de main d'œuvre, total 0,033 *f*.

Le rapport ajoute que, si on avait brûlé du charbon au lieu d'huile, ce charbon aurait coûté, transport et manutention compris, 15,50 *f* la tonne de 906 *kg*, soit 17,20 *f* la tonne de 1 000 *kg*. La production de vapeur aurait été probablement de 7 *kg* seulement par kilogramme de combustible. Sur ces bases, la dépense par heure aurait été de 21 *t* coûtant 361,20 *f* au lieu de 289 ; économie 72,20 *f* en faveur du combustible minéral, soit 20 0/0 environ sans compter l'économie de main-d'œuvre.

Cet avantage ressort du calcul et les journaux américains font observer qu'il est regrettable qu'on n'ait pas fait la comparaison directement en chauffant au charbon quelques-unes des chaudières de l'Exposition.

Le port de Tampico. — En août 1888, un contrat pour l'établissement d'une entrée en eau profonde pour le port de Tampico fut passé entre le département des travaux publics du Mexique, et M. Sebastien Comacho, représentant du chemin de fer Central Mexicain. En juin 1889 M. C.-L. Wade, alors président de la Compagnie du chemin de fer, chargea notre éminent collègue, M. E.-L. Corthell, de faire l'étude des travaux à exécuter et ce projet fut adopté par la Compagnie et par le Gouvernement au mois d'août suivant. Un récent rapport de M. Corthell à la Compagnie, rapport dont nous trouvons un extrait dans l'*Engineering News*, donne d'intéressants renseignements sur la nature et l'avancement des travaux.

Tampico, situé sur la rivière Panuco à une dizaine de kilomètres de la côte du golfe du Mexique, se trouve à égale distance du Rio-Grande et de Vera-Cruz. Le chemin de fer Central Mexicain construit en ce moment une ligne de Tampico à Mexico, ligne qui aura un tracé beaucoup plus facile que l'ancienne ligne Vera-Cruz-Mexico; de plus Tampico est actuellement en communication par voie ferrée avec San-Luis Potosi et au nord-ouest avec le réseau international Mexicain.

Le bassin en forme d'éventail du fleuve Panuco a plus de 550 milles de longueur et couvre une superficie de 36 000 milles carrés. La chute de pluie sur cette partie est très variable. Dans la saison ordinaire des pluies, par exemple en juillet et août 1893, le débit de la branche principale du fleuve au-dessous de Tampico, a été trouvé de 4 200 m^3 à la seconde, soit deux fois le volume qui passe entre les jetées du Missisipi. A ce point, situé à 10 *km* environ du golfe, le fleuve a 400 *m* environ de largeur; la section transversale du lit est de 2 500 à 2 800 m^2, de sorte que la vitesse moyenne atteint 1,75 *m* par seconde ou 6 *km* environ à l'heure. La quantité de matière en suspension dans ces conditions est énorme et, lorsque l'eau sort de la rivière et perd de sa vitesse, ces matières se déposent et forment une barre à une distance de 1 500 à 2 000 *m* de la côte. Sur cette barre il n'y a qu'une hauteur d'eau variant de 1 50 à 3,50 *m* selon la hauteur du fleuve et l'état de la mer dans le golfe, mais qu'on peut estimer en moyenne à 2,70 *m*. L'extension de cette barre dans le golfe est prévenue par de puissants courants parallèles à la côte qui, dans les mois d'hiver, enlèvent une partie des alluvions

déposées pendant les mois de crues; il se forme ainsi une sorte d'équilibre qui s'est maintenu jusqu'ici.

L'ouvrage confié à M. Corthell consistait à ouvrir un passage à travers cette barre pour former une entrée en eau profonde au port de Tampico, situé dans une position magnifique à l'intérieur des terres. Après une minutieuse étude des conditions locales, l'Ingénieur résolut d'établir deux jetées parallèles écartées d'environ 300 *m* d'axe en axe et donnant un passage libre de 270 *m*.

Ces jetées ont près de 2100 *m* de longueur et sont construites en enrochements; la jetée du nord, qui est exposée aux vents dominants, a une construction particulièrement massive. Le travail de l'établissement du chenal entre les deux jetées s'est trouvé retardé par deux causes, sans quoi il aurait été achevé au moins un an plus tôt. La première a été une sécheresse exceptionnelle, la seconde, la découverte d'un lit de conglomérats très durs sur 300 *m* de longueur à la base de la barre, laquelle contenait également un certain nombre d'épaves et débris de navire. Ces épaves durent être détruites à l'aide de la dynamite, et les conglomérats enlevés à la drague. Lors des hautes eaux de juillet 1893, la barre était entièrement enlevée et la passe approfondie, élargie et redressée sur toute la traversée de la barre. La profondeur minima sur des profils relevés tous les 30 *m* sur toute la longueur des jetées était de 8,50 *m*; il y a déjà un bon chenal navigable de 180 *m* de largeur sur toute cette longueur dont les bords sont parallèles aux jetées. M. Corthell estime que les dernières hautes eaux ont prouvé qu'il avait été sage de porter à 300 *m* l'écartement des jetées; sans cette précaution, il se serait produit très probablement des affouillements à leur base.

En dehors de l'extrémité des jetées, il s'est formé une barre temporaire par les dépôts des dernières hautes eaux. On estime que ce dépôt représente pour un mois le volume de 10 millions de mètres cubes, l'eau charriant environ 1/700e de matières. Cette barre extérieure est traversée par un chenal de 6,85 *m* de profondeur. Elle est, d'ailleurs, dans une position favorable pour être enlevée par les courants parallèles à la côte qui règnent dans le golfe et, quand les travaux de dragage seront terminés, M. Corthell pense que le courant naturel du fleuve aura assez de force pour maintenir le tirant d'eau entre les jetées.

Le résultat de ces travaux a déjà amené le port de Tampico, qui était sans aucune importance, au rang de second port du Mexique. La ligne Johnson a un service de six bateaux entre Baltimore et Tampico; le trafic avec Mobile est florissant; le gouvernement mexicain a dépensé 300 000 *f* pour la construction de bâtiments pour la douane et les 10 millions de francs que les travaux achevés coûteront rapportent déjà un intérêt élevé. Comme l'accès par chemin de fer aux grands plateaux mexicains est aisé depuis Tampico, ce port peut aspirer à être bientôt le plus important du golfe du Mexique.

Conduites d'eau en bois aux États-Unis. — Nous avons eu occasion dans la Chronique de mai dernier, page 691, de signaler l'emploi de conduites en bois pour les eaux d'égout en Amérique. On trouve dans un travail de M. J.-D. Schuyler sur la distribution d'eau

de Denver, lu devant l'*American Society of Civil Engineers*, des détails sur ce genre de construction assez employé aux États-Unis.

On a commencé à employer les conduites en bois à Denver en 1884, lors de la construction de la nouvelle canalisation. La charge étant très faible, on était conduit à employer de grands diamètres. En présence du haut prix des tuyaux en fonte dans le Colorado, l'Ingénieur M. C.-P. Allen résolut d'employer le bois et établit une conduite de 1,22 *m* de diamètre formée de douves assemblées et cerclées en fer comme des tonneaux. Cet emploi fut continué. On peut citer une canalisation de 26 400 *m* de longueur en tuyaux de 0,76 *m* de diamètre posée depuis 1889. La charge est de 56 *m* d'eau. La conduite est en pin du Texas formée de douves de 32 *mm* d'épaisseur et 3,60 *m* de longueur; les joints sont croisés sur 0,60 à 0,75 *m* et des bandes supplémentaires sont ajoutées dans la partie des joints. Les douves portent l'une contre l'autre aux abouts par des lames métalliques qui pénètrent dans les deux et assurent une étanchéité parfaite.

Ces conduites sont construites sur place, et coûtent seulement 23 *f* le mètre courant toutes posées, mais non compris les travaux de terrassements pour les tranchées. On leur fait fréquemment franchir des ruisseaux et même des cours d'eau jusqu'à 30 *m* de longueur sans soutien étranger. Dans ce cas, on les établit en forme d'arc avec une flèche égale au dixième de la portée.

Prony et la mesure du travail. — Nous devons à l'obligeance de notre Collègue M. Raffard, que nous avons déjà eu souvent l'occasion de citer dans nos Chroniques, la communication d'une brochure devenue rare et intitulée : « Rapport fait à MM. les Président et Conseillers de la Cour royale de Paris, par M. de Prony, sur la nouvelle et l'ancienne machines à vapeur établies à Paris, au Gros-Caillou, à l'occasion du procès pendant au Tribunal de ladite Cour royale entre MM. Edwards, vendeur et Lecour, acquéreur de la nouvelle machine. — Paris, 1826 ». Nous avons été d'autant plus heureux de prendre connaissance de cette brochure, que nous avions depuis longtemps l'intention d'aller la consulter à la bibliothèque de l'École des Ponts et Chaussées dans le catalogue de laquelle elle figure. On y trouve des considérations très intéressantes sur la mesure du travail des machines.

Prony rappelle d'abord que, si on est généralement d'accord pour rapporter l'effet des machines à feu au travail du cheval dans un manége, on l'est beaucoup moins sur la valeur de ce travail. On peut citer huit ou dix évaluations différentes de la force du cheval, tirées des auteurs anglais, de Belidor, des œuvres de Perronnet, etc.

La conséquence de ces divergences est que ce type de mesure de force désigné sous la dénomination vague de *cheval*, n'ayant point de fixation, soit légale, soit généralement commune, devrait être exactement déterminé, défini dans les transactions entre les vendeurs et les acquéreurs de machines à feu; cette précaution n'avait pas été prise dans les traités passés entre MM. Edwards et Lacour et cette négligence a été une des causes premières du procès dont il s'agit.

« Il serait bien important, ajoute Prony, de convenir du choix d'une

unité dynamique exactement fixée, dont l'usage serait obligatoire et de mettre enfin dans cette partie du système général des mesures la fixité qui existe dans les autres parties. On pourrait, dans une pareille détermination, abandonner entièrement les considérations déduites de l'analogie avec la force du cheval. Cette force dans l'origine offrait naturellement un terme de comparaison, mais ses diverses évaluations diffèrent tellement entre-elles, on y aperçoit si peu l'indice du mode d'action de l'animal que, dans l'embarras du choix à faire, il vaut peut-être mieux n'en pas faire du tout et n'assujettir l'adoption d'une unité dynamique qu'à la seule condition de la commodité et de la facilité du calcul. Il me semble que cette condition serait remplie d'une manière satisfaisante, *si on prenait pour terme de comparaison l'élévation d'un poids de 100 kg à 1 m de hauteur pendant une seconde de temps.* » Or, cette unité indiquée en 1826 par Prony est précisément ce que le Congrès international de Mécanique appliquée de 1889 a appelé un *Poncelet.* Cette dénomination parait due au hasard. Voici, en effet, ce que nous trouvons dans le procès-verbal de la séance du Congrès du 21 septembre 1889, sous la présidence de M. Phillips.

M. Haton de la Goupillière dit qu'exprimant la pensée de donner à l'unité de 100 *kgm* par seconde le nom d'un grand savant ayant traité de la question du travail, il lui est venu à l'esprit le nom de Poncelet. On pourrait donc dire un cheval de 75 *kgm* par seconde et un *poncelet* de 100 *kgm* par seconde.

La proposition du savant inspecteur général des mines a été adoptée sans observations sur le nom, ce qui indique bien qu'aucun des membres présents à la séance ne connaissait ou ne se rappelait la proposition faite soixante-trois ans avant par Prony. Ce dernier ayant tous les titres possibles à être compris au nombre des grands savants ayant traité de la question du travail, il eut été juste de donner à l'unité de 100 *kgm* par seconde le nom de celui qui l'avait proposée le premier et de l'appeler un *prony* plutôt qu'un *poncelet.* Ce n'est pas que nous nous exagérions l'importance de la chose. Proposer une unité de mesure et la faire employer dans la pratique sont deux choses très différentes. Voilà cinq ans que le *poncelet* a été créé, nous ne croyons pas avoir rencontré même une seule fois cette expression. C'eût été d'ailleurs la même chose si on l'eut appelé le *prony.*

Nous signalerons encore un point intéressant dans la brochure de Prony. Dans la deuxième des notes qui suivent son rapport, l'auteur décrit un appareil qui lui a été fort utile pour les expériences qu'il a eu à faire sur les machines à feu à haute pression, « appareil qui a l'avantage de donner la mesure de l'effet dynamique, soit total, soit partiel, d'un système tournant, par le poids et la position d'une masse qu'on maintient dans l'état d'immobilité ». Cet appareil n'est autre que le frein dynamométrique universellement connu sous le nom de *frein de Prony.*

La description qu'en donne l'auteur, description complétée par une figure, présente deux particularités remarquables. La première est que le frein est composé de deux pièces de bois semblables, l'une au-dessus de l'arbre s'étendant à droite, l'autre au-dessous s'étendant à gauche,

de sorte que 'lappareil se trouve *équilibré* par lui-même. La seconde est que le poids qui constitue la charge est fixé au levier inférieur du côté qui tend à monter, de sorte que, le bras de levier augmentant lorsque le poids monte, l'appareil est stable. Il est d'autant plus intéressant de voir ces précautions indiquées par l'auteur dès l'origine qu'elles ne sont pas toujours suivies dans les applications qu'on fait journellement du frein de Prony.

Il serait peut-être bon de dire un mot du résultat des expériences faites sur les deux machines et qui constituent la partie essentielle de la brochure. Il a été constaté que la moyenne des essais donnaient une consommation de combustible de 719 *g* par mètre cube d'eau élevée pour la nouvelle machine et de 823 *g* pour l'ancienne, ce qui constitue pour la première une économie de 13 0/0 en nombre rond. La hauteur d'élévation étant la même dans les deux cas, 35 *m*, 1 *kg* de combustible (dans l'espèce moitié Auvergne moitié Blanzy) a produit dans un cas 48 600 *kgm* et dans l'autre 42 500, ces chiffres équivalent à 5,5 et 6,4 *kg* par cheval en eau montée. Il n'est malheureusement donné aucun renseignement sur les générateurs qui fournissaient la vapeur à ces machines; il est probable que ces chaudières avaient une vaporisation assez médiocre, en supposant 6 *kg* de vapeur par kilogramme de combustible, on trouverait des consommations respectives de 33 et 38,5 *kg* de vapeur par cheval en eau montée, chiffres qui paraîtront peu élevés si on se reporte aux expériences de M. de Borodine, rapportées ci-dessus et dans la Chronique précédente.

COMPTES RENDUS

SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE

Avril 1894.

Rapport de M. Sauvage sur le résultat des propositions de la Société d'Encouragement au sujet de l'**unification des filetages et des jauges.**

On sait que la Société d'Encouragement avait largement distribué, en juillet 1893, un mémoire relatif à l'unification des filetages et des jauges, dans le but de provoquer des appréciations et des observations. Le présent rapport examine les principales de ces observations et la mesure dans laquelle on doit en tenir compte. Elles portent sur les points suivants : Forme, troncature du filet, hauteur de la partie tronquée du filet, triangle initial formant le filet, définition du diamètre des vis, choix des pas, choix des diamètres, relation entre les diamètres et les pas, emploi des numéros, ouverture des clés, diamètre du corps des boulons, détails divers, filetage des tubes et jauges de tréfilerie.

Après examen attentif de toutes les observations présentées sur ces divers points, la Société a, sur la septième, tenu compte de celles qui y étaient relatives et a modifié légèrement la série, ce qui ne trouble pas l'économie générale du système. Elle a également, sur le dixième point, admis une augmentation très légère du diamètre.

Le système proposé de filetage se résume donc comme suit. — La forme théorique du filet de toutes les vis mécaniques s'obtient en traçant un triangle équilatéral ABC dont le côté est égal au pas, puis menant des parallèles EF et GH à une distance $h : 8$ du sommet A et de la base BC, h étant la hauteur du triangle. Le diamètre de la vis est le diamètre du cylindre qui termine les filets suivant EF.

Les vis sont normalement enroulées à droite.

Les pas varient de demi en demi-millimètre, à partir de 1 *mm*.

Le diamètre D en millimètres se déduit du pas p par la relation

$$D = \frac{p\,(p-8)}{1,3} - 1,5$$

en arrondissant le résultat par excès ou par défaut, de manière à obtenir le nombre pair le plus voisin.

Les diamètres intercalaires seront toujours exprimés par des nombres entiers de millimètres et le pas sera celui du diamètre principal immédiatement inférieur.

Ces nombres seront de préférence pairs.

La surface théorique de la vis qui vient d'être définie est une limite que ne doit franchir ni la vis mâle ni la vis femelle. La vis pleine ou

boulon doit toujours être en dedans de la surface théorique et la vis creuse ou écrou en dehors. Il est donc loisible d'arrondir le fond du filet sur le boulon, mais l'écrou ne présentera pas d'arrondi correspondant qui sortirait de la limite théorique. Suivant l'usage auquel sont destinées les vis, on cherchera à réduire plus ou moins le jeu qui restera entre la surface théorique et les deux vis, mais jamais ce jeu ne doit changer de sens. La stricte observation de cette condition essentielle permet seule de faire des filetages interchangeables.

La mécanique générale à l'Exposition de Chicago. — Les chaudières, par M. G. Richard.

Les chaudières de l'Exposition de Chicago étaient presque exclusivement des chaudières à petits éléments. Ce système tend, en effet, de plus en plus à prédominer aux États-Unis, parce qu'on les considère non seulement comme moins dangereuses que les générateurs à grand volume d'eau, mais encore comme plus économiques de combustible et d'entretien, ce qui est plus contestable. Ces chaudières présentent sur certains points, par rapport aux types analogues connus en Europe, des détails de construction précieux à connaître, comme résultant d'une pratique très étendue.

L'auteur décrit d'abord la chaudière *Babcock* et *Wilcox*, qui tient incontestablement le premier rang aux États-Unis où on la compte par centaines de mille exemplaires. Ces générateurs sont souvent employés dans des proportions grandioses; ainsi à la station B de la New-York Steam Company, il y a 64 chaudières représentant une surface de chauffe collective de 17 120 m^2. Il y avait à l'Exposition de Chicago 20 chaudières Babcock et Wilcox de 300 *ch* chacune ayant 126 tubes de 100 *mm* de diamètre et 5,50 *m* de longueur.

La chaudière *Root* qui date de 1867, est également très employée.

Dans la chaudière *Heine*, très répandue aussi, les tubes ne sont pas frappés par la flamme, comme dans tous les autres systèmes à peu près, mais léchés par elle; de plus, le réservoir est incliné parallèlement aux tubes. Il y avait à l'Exposition 12 chaudières Heine de 375 *ch*, ayant chacune 171 tubes de 90 *mm* sur 4,90 *m* de longueur.

La *National Water Tube Boiler* de New-York a ses chaudières comportant 180 tubes de 100 *mm* sur 5,50 *m* et, d'après le mémoire, chacune de ces chaudières vaporisait 450 m^3 d'eau à l'heure (1). Il y avait quatre chaudières *Gill* d'une surface totale de 1 350 m^2.

La chaudière *Stirling* rappelle, dans sa disposition générale, les chaudières de torpilleurs des systèmes du Temple, Normand, Thornycroft, etc.; il y en avait six de 400 chevaux chacuu, ayant 308 tubes en acier doux de 82 *mm* de diamètre et 3,90 *m* de longueur. Ces générateurs sont assez répandus aux États-unis, de même que la chaudière *Climax* formée d'espèces de serpentins. Il y en avait trois à l'Exposition, l'une de 1 000 *ch*, avec 930 m^2 de surface de chauffe, les deux autres de 500 *ch* avec 465 m^2 chacune.

(1) L'auteur a évidemment voulu dire 45 m^3, ce qui correspond à 15 *l* par heure et par mètre carré.

Le mémoire passe ensuite à l'examen des détails de construction, tels que foyers à grilles, foyers à pétrole, brûleurs, soupapes de sûreté, injecteurs, réchauffeurs d'alimentation, etc.; tous ces appareils sont décrits avec beaucoup de détails avec de nombreuses illustrations. Nous ne pouvons que renvoyer au mémoire ceux de nos collègues que ces divers questions intéresseraient. Le travail de M. Richard doit, d'ailleurs, être continué dans un numéro suivant.

ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES

Mars 1894

Notice nécrologique sur **François Jacqmin** Inspecteur général honoraire des Ponts et Chaussées, Directeur de la Compagnie des chemins de fer de l'Est, par M. E. Cheysson, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Expériences relatives à l'**action de l'eau courante sur un fond de sable,** note par M. Fargue, Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

Des constatations faites, il y a déjà assez longtemps, sur la Garonne et d'autres rivières avaient conduit à formuler un certain nombre de règles qui, sans déterminer entièrement le problème du meilleur tracé à donner aux rives artificielles d'une rivière à fond mobile, pouvaient néanmoins fournir d'utiles indications. Ces règles ont fait l'objet d'études insérées dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (octobre 1882 et avril 1884).

En 1875, à l'occasion d'une enquête sur les mesures à prendre pour maintenir et améliorer les accès et les mouillages du port de Bordeaux, une sous-commission avait été chargée dans cette ville de donner son avis sur la réalité des lois et la valeur des règles dont il vient d'être question. Cette sous-commission avait organisé dans ce but quelques expériences sur une dérivation d'un ruisseau qui se jette dans la Garonne en amont de Bordeaux. La philosophie de ces expériences consistait à établir un tracé avec des berges artificielles en planches clouées sur des pieux et à observer l'action du courant sur un lit de sable dont on égalisait la surface avant l'expérience et dont on relevait le profil après celle-ci; la durée des expériences variant dans de larges limites, depuis 45 minutes jusqu'à 160 heures.

On a opéré avec divers tracés, arcs de cercles, lignes droites, etc. et on a discuté les résultats obtenus. Il semble résulter que quand le débit est faible, le chenal suit la rive concave, dans les alignements droits, il oscille d'une rive à l'autre. Le sable se dépose le long des convexités.

Quand le débit est grand, le chenal suit encore la rive concave et est plus stable dans les alignements droits, mais le sable se dépose moins régulièrement le long de la rive convexe.

Pour le surplus, même en faisant une large part aux erreurs possibles d'observation, on ne démèle rien de régulier dans la succession des trous isolés qui constituent le chenal, rien pas même l'influence régulatrice qu'on aurait pu *a priori* attribuer à la durée plus considérable de certaines des expériences.

L'auteur pense que les expériences ont en somme confirmé les lois formulées par lui dans son mémoire de 1868. Il avait, de plus, organisé vers 1872 des expériences qui ont été renouvelées récemment, sur sa demande, à Langon et à Rouen et qu'on peut appeler expériences du bassin tournant. Le principe consiste à se servir d'un bassin circulaire horizontal de forme annulaire ayant 1 *m* de diamètre intérieur et 2 *m* de diamètre extérieur sur 0,30 *m* de hauteur. Ce bassin repose sur un plateau monté sur un axe vertical qui sert à lui imprimer un mouvement de rotation plus ou moins rapide.

Le bassin étant plein d'eau avec une couche de sable et de gravier au fond, on peut constater l'influence de la vitesse de rotation sur la manière dont le profil du fond se modifie. Pour cela, on arrête brusquement le plateau, l'eau prend alors un mouvement par rapport au fond et détermine des entraînements sur celui-ci, entraînements dont la forme varie. Cette expérience met en évidence des phénomènes analogues, bien que beaucoup plus accentués, à ceux qu'on observe sur les rives d'un cours d'eau à rives courbes.

Les abaques de remblai et de déblai construits au moyen de la méthode des points isoplèthes, par M. M. d'Ocagne, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École polytechnique.

Cette note a pour objet d'expliquer le mode de construction et d'emploi de l'abaque, et d'en donner une théorie mathématique.

Bulletin des **accidents arrivés dans l'emploi des appareils à vapeur** pendant l'année 1892.

Cette statistique a déjà paru dans les *Annales des Mines*, et nous en avons rendu compte dans le Bulletin de mars 1894, page 381.

SOCIÉTÉ DE L'INDUSTRIE MINÉRALE

DISTRICT DU SUD-EST

Réunion d'Alais le 18 mars 1893.

Communication de M. Gouvy sur la **Sidérurgie dans la Haute-Silésie.**

L'auteur donne d'abord un exposé statistique des exploitations houillères qui, en 1891, comprenaient 51 sièges d'extraction et produisaient 17 millions de tonnes de charbon (la production totale de la France a été de 25 millions en 1892), puis des chiffres se rapportant aux mines de fer et à l'industrie sidérurgique en général. Il étudie ensuite les

diverses fabrications, examine successivement la question des fours à coke, parmi lesquels prédominent les systèmes à récupération des sous-produits, les hauts fourneaux, les appareils à air chaud et enfin les machines soufflantes pour lesquelles on parait préférer décidément le système vertical, les fonderies de fonte, la fabrication des moulages en acier produit dans des fours Martin de 4 à 10 et même 2 *t*, les fours Martin dont la construction a été tellement perfectionnée qu'on peut arriver à faire 1 000 coulées sans réparation aucune, des brûleurs à gaz pour le chauffage des poches, des grues sur chariot très simples, etc. Quelques renseignements sont également donnés sur les laminoirs, les fours à puddler au gaz, les volants à bras en fer, l'emploi des câbles au lieu de courroies pour les transmissions des trains, etc.

Communication de M. Lange sur l'**utilisation de la force absorbée par les freins.**

Dans les plans inclinés, on prévient généralement l'accélération du mouvement en opposant au travail moteur un travail résistant engendré par le frottement des freins ou la résistance de l'air contre de gigantesques roues à ailettes. On pourrait utiliser cette énergie en la recueillant au moyen d'un compresseur d'air, et la note décrit une application de ce genre faite au puits Tuleuf.

La charge est de 1 120 *kg*, la vitesse de 3 *m*, le travail moteur est donc de 3 360 *kgm*. Avec un rendement de 50 0/0 on aura 1 680 *kgm* sur l'arbre du compresseur. S'il faut 24 000 *kgm* pour comprimer 1 m^3 de 1 à 6 *atm*, on obtiendra 70 *l* d'air par seconde.

Le compresseur se compose de deux cylindres à simple effet de 0,35 *m* de diamètre et 0,200 *m* de course actionnés par un arbre tournant à 108 tours. Cet appareil permet d'obtenir par jour 168 m^3 d'air à 6 *atm* d'une manière tout à fait gratuite.

Compte rendu par M. Lange du **Cours élémentaire d'exploitation des mines**, de M. Garreau.

Préparation mécanique des minerais. — Séparation par la voie sèche des minéraux de densités sensiblement équivalentes par le procédé Heusschen.

Ce procédé repose sur ce fait que, étant donné un mélange de minéraux cristallisés, de minéraux à cristallisation confuse et de minéraux amorphes, ces divers minéraux ne se comporteront pas de même à la chaleur, les mineraux cristallisés décrépiteront en général et se réduiront en poudre et il sera facile de les séparer par tamisage.

L'opération se fait en vase clos dans un four de forme spéciale contenant une table à secousses actionnée par une came; cette table est en pente, de sorte que la marche du minerai est continue, il entre par une extrémité et sort par l'autre.

Ce système est employé par la Société des mines de Guerrouma, en Algérie, qui l'applique à des minerais contenant de la blende et de la galène argentifère. Il y a huit fours dont chacun traite 1 500 *kg* de minerai par journée de dix heures, en dépensant 100 *kg* de combustible par tonne de minerai.

Notice sur les **agrafes et boutons pour câbles métalliques**, système Heusschen.

Avec l'emploi de plus en plus fréquent des câbles métalliques, la nécessité d'un moyen d'attache rapide et solide se fait sentir. L'agrafe Heusschen se compose d'une pièce d'acier en forme d'olive percée de deux trous coniques obliques au grand axe et opposés. Les deux bouts du câble à raccorder sont introduits dans ces trous, chacun dans l'un. On chasse dans l'âme du câble une broche conique qui détermine un renflement et un serrage uniforme des fils le long des génératrices du cône et on achève le calage en introduisant jusqu'à refus des petits clous coniques en acier.

Un raccord de ce système sur un câble de 14 *mm* de diamètre a été éprouvé à une machine à essayer; sous un effort de 15 *t* le câble s'est rompu, le raccord a résisté, les fils du câble se sont simplement serrés dans leur étui conique en avancant de 3 *mm*.

Communication de M. Garreau sur l'**importance de l'étude des minerais d'affleurement.**

Cette note a pour objet d'indiquer qu'on doit étudier et analyser avec soin tous les minéraux, roches, terres, etc., qui se trouvent en contact ou dans le voisinage immédiat des gisements métalliques, se rappelant que les caractères minéralogiques principaux disparaissent souvent aux affleurements. On ne s'expose pas ainsi à abandonner dans le sol des matières utiles et à voir des étranger venir en tirer parti, comme on peut en citer bien des exemples.

RÉUNIONS DE SAINT-ÉTIENNE

Séance du 5 avril 1894.

Visite de la Société de l'industrie minérale aux usines de Saint-Chamond.

Dans cette visite, on a assisté à différentes opérations sur des plaques de blindage et des tubes pour canons. On trouve dans le compte rendu d'intéressants détails sur l'atelier de travail des blindages comprenant fours Martin, train à blindages actionné par une machine Farcot de 1 500 *ch*, fours à réchauffer, presses à gabarier, machines-outils, ponts-roulants, etc., et sur les grosses forges où on travaille les canons, l'atelier de trempe, celui de forerie et les ateliers de construction et de montage.

Séance du 5 mai 1894.

Il est donné connaissance d'un certain nombre de notes adressées par M. Coignet et extraites de diverses publications étrangères. Ce sont :

1° Procédé de désargentation du plomb de MM. Rœssler et Edelmann, extrait de l'*Engineering and Mining Journal;*

2° Industrie du pétrole en Gallicie, extrait du *Colliery Guardian;*

3° Séparation électro-magnétique de l'oxyde de fer à Mayern (Tyrol), extrait des *Transactions of the North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers;*

4° Principales réactions produites dans la formation des laitiers de hauts fourneaux, considérées au point de vue de la thermo-chimie, extrait de l'*Engineering and Mining Journal.*

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ALLEMANDS.

N° 22. — *2 juin 1894.*

Machines-outils pour le travail des bois à l'Exposition de Chicago en 1893, par H. Fischer *(suite).*

Changements de voie et signaux à l'Exposition de Chicago en 1893, por H. Heimann *(suite).*

Les machines de l'industrie textile à l'Exposition de Chicago en 1893, par F. Gründler *(fin).*

Machines marines. — Changement de marche hydraulique de Joy. — Changement de marche par l'emploi d'un fluide sous pression, par Görris.

Poulies de transmission en bois.

Groupe de Mannheim. — Tramways électriques.

N° 23. — *9 juin 1894.*

Expériences faites de 1887 à 1892 à l'arsenal impérial à Dantzig sur la résistance des foyers cylindriques aux pressions extérieures, par C. Bach.

Gazomètres télescopiques, par M. Niemann.

Machines-outils pour le travail des bois à l'Exposition de Chicago, en 1893, par H. Fischer *(fin).*

Groupe de Berg. — Autorisation pour les installations de chaudières à vapeur.

Groupe de Franconie et du Palatinat supérieur. — Petits moteurs. — La foudre et les paratonnerres. — Distribution d'eau de Hambourg. — Transmissions électriques pour ateliers. — Observatoire de Bamberg. — Fraises et leur emploi.

Association des chemins de fer. — Pas de vis métriques.

Bibliographie. — Détails sur les fours Martin-Siemens, par Frédéric Toldt.

Variétés. — Rupture d'un volant dans une tréfilerie à Eschweiler. — Règlements pour la prévention de la fumée.

N° 24. — *16 juin 1894.*

Machines-outils à l'Exposition de Chicago, en 1893, par W. Hartmann *(suite).*

Moteurs à gaz et petits moteurs à l'Exposition de Chicago, en 1893, par Fr. Freytag *(suite).*

Expériences de rendement faites sur six chaudières à l'Exposition internationale d'électricité à Francfort-sur-le-Mein, en 1891, par R. Stribeck.

Influence de l'admission au grand cylindre contrôlée par le régulateur dans les machines compound, par K. Reinhardt.

Groupe de Breslau. — Moteur à vapeur surchauffée de Schmidt. — Nouvelles constructions de chemins de fer en Russie.

Bibliographie. — Rapports officiels sur l'Exposition internationale d'électricité de Francfort-sur-le-Mein, en 1891. — 2e volume. — Travaux de la Commission d'essais.

Variétés. — Sixième réunion générale de l'Association pour la réforme scolaire.

Correspondance. — Propulseurs à turbine.

N° 25. — *23 juin 1894.*

Notice nécrologique sur le Dr Julius Grüneberg.

Arbres tournants et tiges oscillantes, par A. Ritter.

Distribution d'eau et canalisation des bains d'Œynhausen, par P. Kurgass.

Moteurs à gaz et petits moteurs à l'Exposition de Chicago, en 1893, par Fr. Freytag *(suite).*

Recherches de Roberts-Austen sur les alliages, par Rudeloff.

Groupe de Chemnitz. — Diagrammes de tiroirs.

Correspondance. — Machines-outils à l'Exposition de Chicago. — Installation des turbines de Saint-Blaise, Weizen et Mulhausen

N° 26. — *30 juin 1894.*

Ordre du jour et programme de fêtes de la XXXVe réunion générale de l'Association des Ingénieurs allemands, à Berlin.

Calcul graphique des poutres, par Kirsch.

Locomotives compound en Amérique, par G. Bruckmann *(suite).*

Machines pour couper les fers à double T et à profils analogues, par Specht.

Machine à vapeur à régulateur dans le volant, pour petites forces, par C. Sondermann.

Groupe de Berg. — Nouveaux systèmes de chauffage pour chaudières à vapeur.

Variétés. — Voiture à vapeur pour tramways, système Serpollet. — Réunion des directeurs d'installations électriques allemandes.

Correspondance. — Chauffage électrique.

Pour la Chronique et les Comptes Rendus :

A. MALLET.

TABLE DES MATIÈRES

TRAITÉES DANS LE 1er SEMESTRE, ANNÉE 1894

(Bulletins)

Le Secrétaire général, Gérant responsable,

A. DE DAX.

IMPRIMERIE CHAIX, RUE BERGÈRE, 20, PARIS. — 13738-6-94. — (Encre Lorilleux).

ERRATUM

Dans les deux croquis qui se trouvent à la page 612 du Bulletin de mai 1894, au lieu de **réservoir** *de distribution, il faut lire* **réseau** *de distribution.*

MENT SPÉCIMEN
MARINE FRANÇAISE.
illet, Août, Septembre.

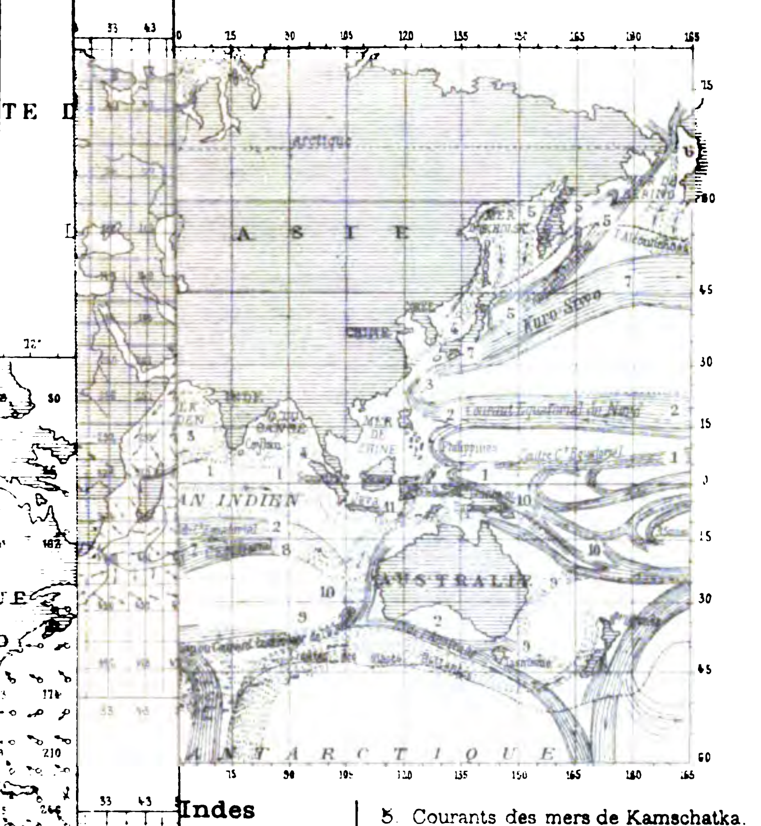
TE DE L'ATLANTIQUE.
Janvier, Février, Mars.

TIQUE.
nbre.

TE DE L'ATLANTIQUE.
Octobre, Novembre, Décembre.

TE





Indes

uatorial.

l Sud.

d'Oman.

de Bengale.

bar et du Canal

s Aiguilles.

est du courant

du Sud.

cap ou courant

céan Indien.

'Ouest de l'Aus-

ravers l'Archipel

velle-Guinée au

ca.

Rouge.

Pacifique

rd

quatorial (de la

au golfe de Pa-

du Nord

de la Chine.

du Japon.

5. Courants des mers de Kamschatka.
6. Courants des mers de Behring.
7. Grand courant du Japon ou Kuro-Sivo ou courant de Tessan.
8. Tournant de la Colombie britannique et de l'Alaska.
9. Courant de la côte de la Californie
10. Courant du Mexique.
11. Grand tournant de Fleurieu au large de la Californie.

Grand Océan Pacifique du Sud

1. Courant équatorial du Sud.
2. Courant du Sud de la Nouvelle-Hollande.
3. Courant traversier de l'Océan Pacifique.
4. 1° Sa branche du N. au courant du Mentor.
5. 2° Sa branche du Sud.
6. Courant du cap Horn.
7. Courant de Humbolt ou courant de la côte du Pérou.
8. Grand tournant du Pacifique Sud.
9. Courant entre l'Australie et la Nouvelle-Zélande.
10. Courant de Rossel.

UDIERES A BOU

Fi itive.

Fig. 3. — Coupe Coupe suivant a b.







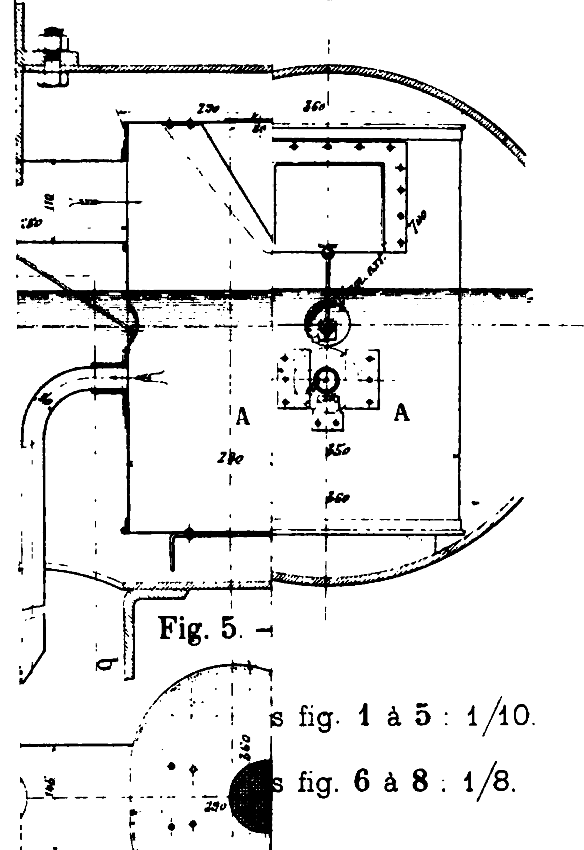


Fig. 5. –

s fig. 1 à 5 : 1/10.

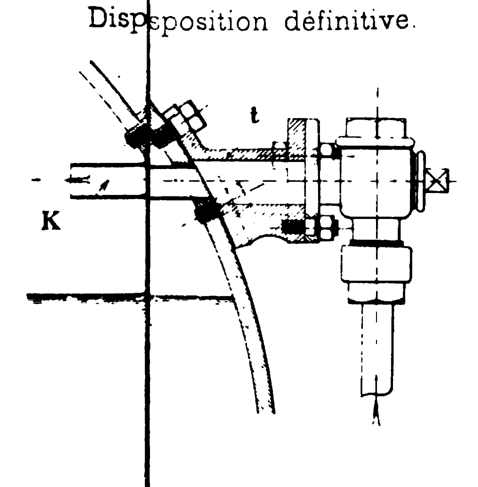
s fig. 6 à 8 : 1/8.

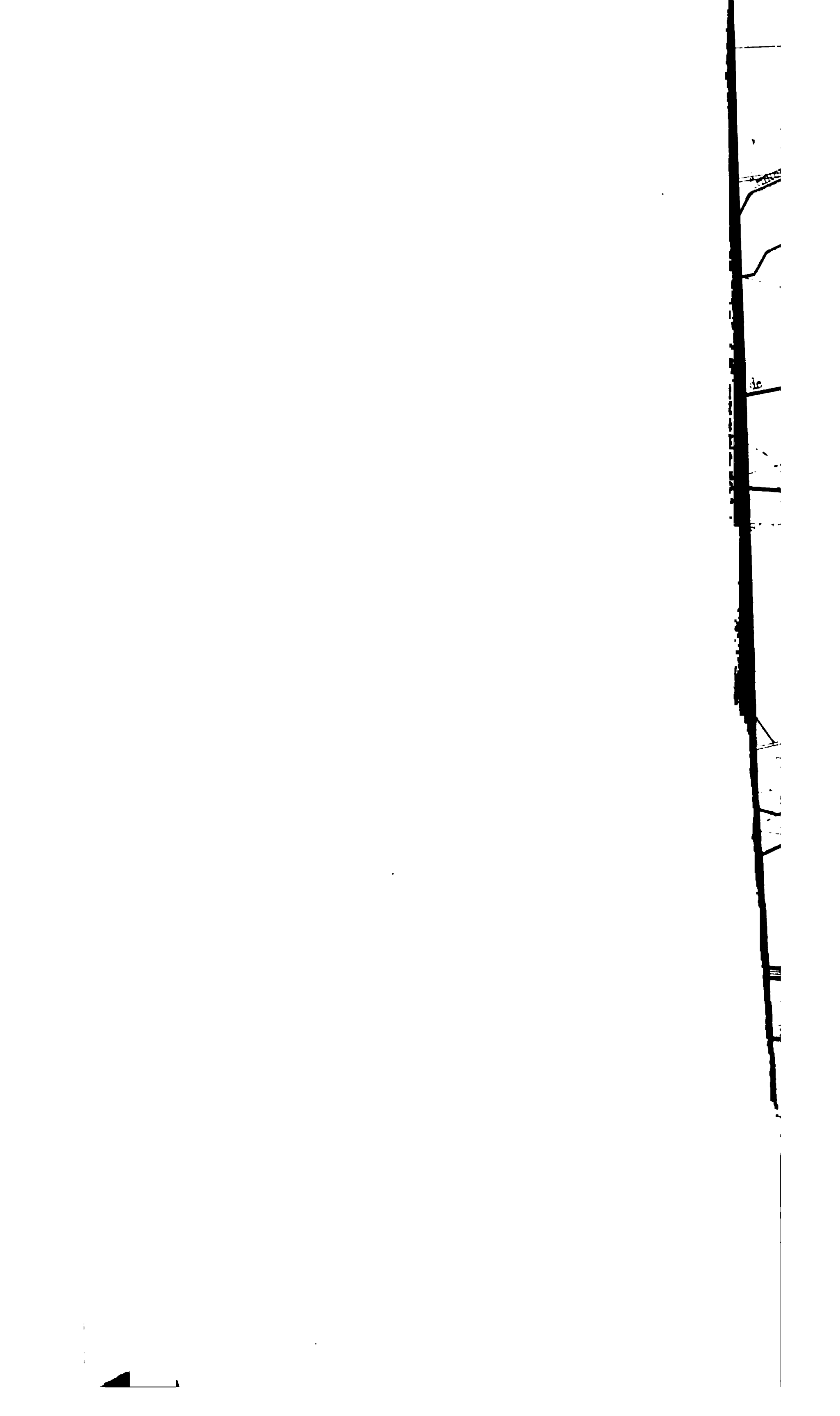
RES TUBULAIRES

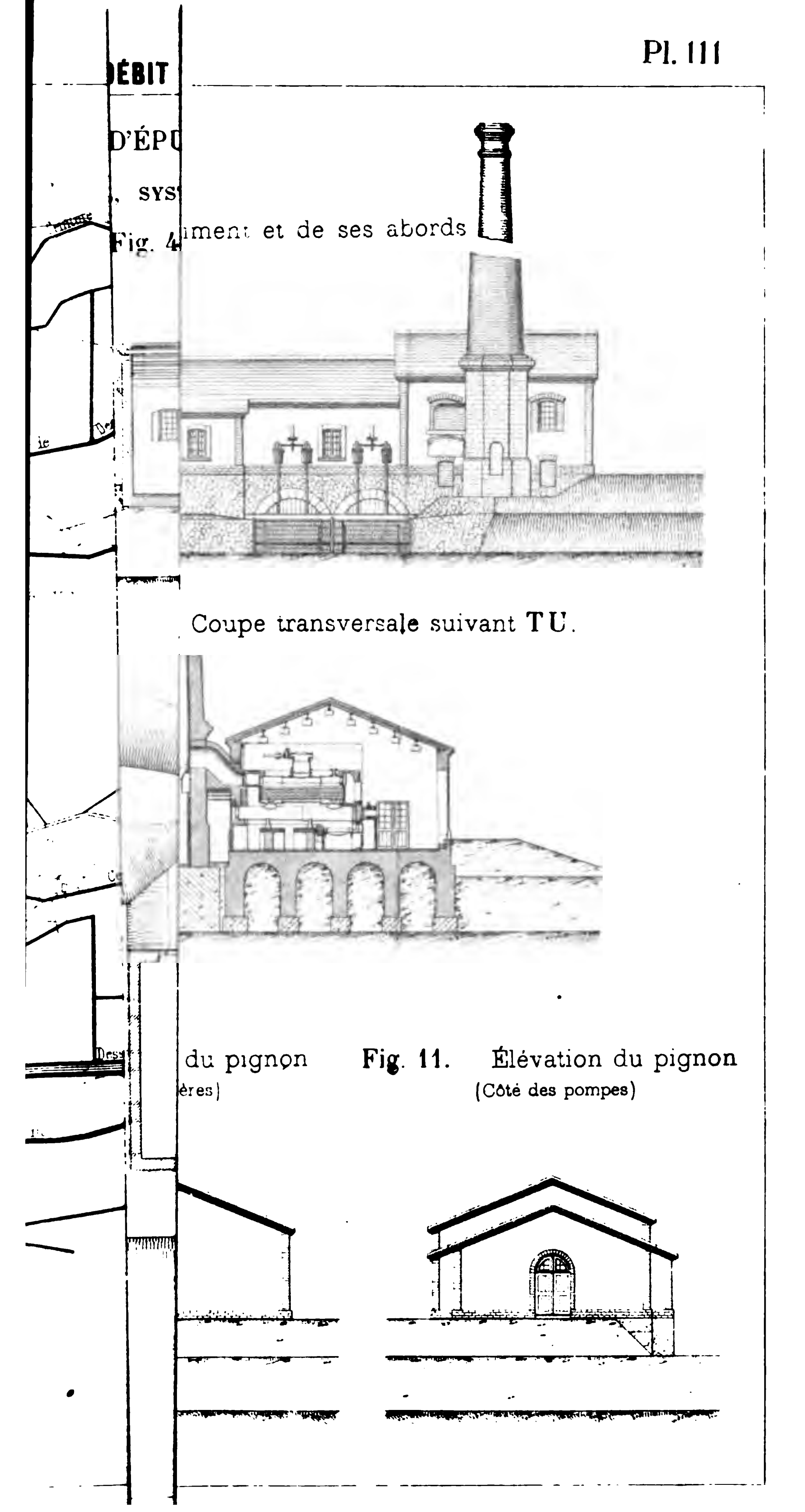
liné.

Fig. 8.

Dispposition définitive.






ÉBIT
D'ÉP
, SYS
Fig. 4
iment et de ses abords
Coupe transversale suivant TU.
du pignon
ères)
Fig. 11. Élévation du pignon
(Côté des pompes)

